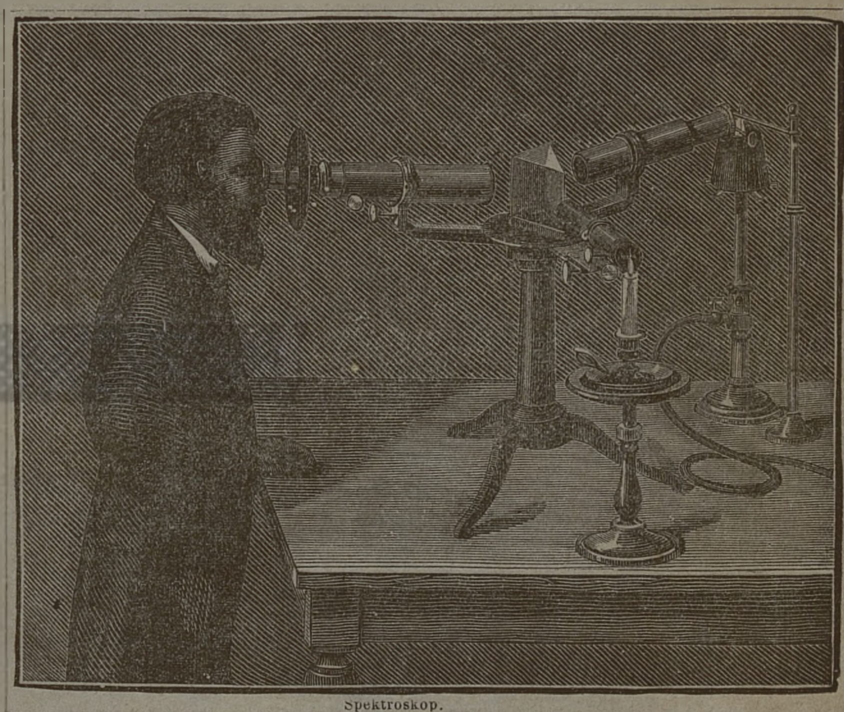
CENA 20 KOP. **Zeszyt 23.** CENA 20 KOP.

SIŁY PRZYRODY.

POPULARNY WYKŁAD FIZYKI

I GŁÓWNIEJSZYCH JEJ ZASTOSOWAŃ.



Spektroskop.

Podług dzieła A. Guillemin'a „Le monde physique“

OPRACOWALI

Józefowa Nusbaum

bak. n. prz.

i

Henryk Silberstein

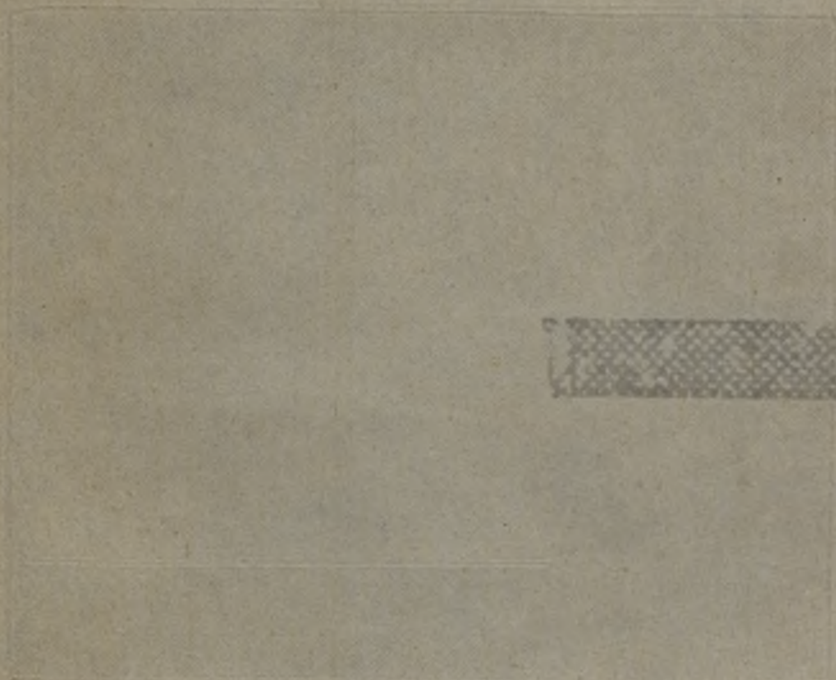
dr. fil., b. as. chem. przy un. w Bernie.

WARSZAWA.

Nakładem Księgarni **H. Olawskiego,** ul. Mazowiecka № 6.

1889.







W każdym razie w chwili skrzepnienia oswobadza się ciepło, dzięki czemu występuje często dość znaczne podniesienie się temperatury. Cieplo to może nawet doprowadzić do wrzenia jakąś ciecz łatwo lotną, np. eter, zawarty w małej rurce i wprowadzony do wnętrza roztworu. Doświadczenie udaje się bardzo dobrze z podsiarkonem albo octanem sodu, do których dodano nieco wody i które doprowadzono do stanu ciekłego; temperatura może się wtedy podnieść do 48⁰ lub 55⁰, zależnie od tego, czy używa się pierwszego albo drugiego z tych ciał.

W ogóle ciecze krzepnąc, kurczą się, istnieją jednak i pod tym względem wyjątki. Jednym z ciekawszych jest zjawisko rozszerzania się lodu w chwili jego tworzenia się. Ciężar właściwy lodu przy 0⁰ jest mniejszy od ciężaru wody przy tej samej temperaturze i to nam objaśnia dlaczego podszas zimy kry lodowe pływają po powierzchni rzek. Siła rozprężliwa lodu w chwili jego powstawania jest bardzo wielka, dzięki jej naczynia, zawierające wodę, pękają, gdy woda ta marznie, tkanki zaś młodych pędów roślinnych ulegają we wszystkich kierunkach rozdarciu, gdy termometr spada poniżej 0⁰ podczas zimnych nocy w pierwszych dniach wiosny. Można bezkarnie zamrozić wodę w dolnej części karafki lub butelki, albowiem wtedy lód rozszerza się swobodnie i niema obawy, że naczynie pęknie. Lecz gdy najprzód zamrozi się wodę w szyjce butelki, wtedy powstały w tem miejscu lód tworzy bardzo mocny korek, opierający się powiększeniu objętości masy, umieszczonej pod nim, a ponieważ powiększenie to musi mieć miejsce, przeto ściany naczynia pękają. To nagle rozszerzanie się wody objaśnia tak częste w zimie pękanie rur wodociągowych, które daje się spostrzedz dopiero w czasie odwilży, albowiem do tej chwili woda z rur wyciekać nie może, gdyż szczeliny w niej są zatkane przez lód. Tyndall napełniał wodą względnie małe żelazne butelki, których ścianki miały grubość $1\frac{1}{2}$ centym. i zamykał je za pomocą żelaznych korków, przyszrubowanych do szyjki. Gdy następnie wystawiał je na działanie silnego zimna, ulegały zawsze rozsadzeniu. Inne ciekawe doświadczenie wykonał pewiem major artyleryi. Napełnił on bomby wodą, do otworów wprowadził mocne żelazne korki

i wystawił na działanie zimna; podczas zamarzania wody jeden korek wyleciał z otworu z taką gwałtownością, że znaleziono go na odległości 150 metrów od bomby, jednocześnie z otworu wyszedł długi cylinder lodu. Druga bomba pękła poprzecznie, a przez szczelinę wyszedł gruby wałek lodu (fig. 417). Podobnie jak za pomocą lodu rozsadza się żelazne naczynia, tak też można to osiągnąć przez napełnianie ich stopionym bizmutem, szczelne zamknięcie i oziębienie.

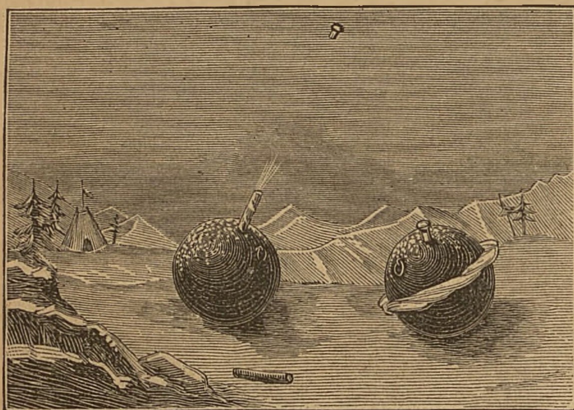


Fig. 417. Doświadczenie z marznącą wodą.

Woda, marznąc, tworzy kryształy, należące do systemu romboedrycznego. Są to kryształy jednoosiowe, jak spat islandzki, czego dowiodły obserwacye Brewstera i w ostatnich latach doświadczenia bardziej szczegółowe Bertin'a. Gdy para wodna, osiadająca w zimie na szybach okien, marznie, wtedy można wyraźnie rozróżnić małe kryształy pryzmatyczne, ułożone jedne obok drugich pod kątem 60^0 i tworzące rozgałęzienia bardzo prawidłowe, podobne w ogólnych zarysach do liści paproci. Gdy w spokojnem powietrzu pada śnieg, wtedy, zebrawszy płatki jego na jakim złym przewodniku np. na czarnem suknie i patrząc na nie przez lupę, widzimy małe pryzmaty hexagonalne, które tworzą razem figury zupełnie symetryczne (patrz tablicę p. t. „Kształt kryształów śniegu“).

Lód również posiada budowę krystaliczną, co można uwidocznić za pomocą następującego doświadczenia Tyndall'a. Na tafelkę lodu o ścianach równoległych i doskonale przezroczystych rzuca się wiązkę promieni słonecznych, za pomocą zaś soczewki otrzymuje się na ekranie powiększony obraz tej tafelki. Po pe-

wnym czasie spostrzega się na ekranie gwiazdy, mające barwę nieco jaśniejszą, niż tło ogólne i przedstawiające pośrodku ciemną plamkę (fig. 418); są one podobne do kwiatów i dlatego doświadczenie to jest znane pod nazwą *kwiatów lodowych*.



Fig. 418. Kwiaty lodowe.

Pod wpływem ciepła słonecznego kryształy lodu topią się; tutaj promień słoneczny działa jak skalpel bardzo delikatny, oddzielający kryształy te od otaczającej masy, w której są osadzone. Mała ciemna plamka jest próżnią, pozostałą po zmniejszeniu objętości, jakiemu ulega woda, przechodząca ze stanu stałego w ciekły.

Dwa kawałki lodu, zetknięte ze sobą, spajają się natychmiast, nawet gdy znajdują się w ciepłej wodzie. Spojenie to odbywa się tem szybciej, im silniej kawałki te są przyciskane jeden do drugiego. Gdy w naczyniu, napełnionem wodą, pływają małe odłamki lodu, wtedy można widzieć, jak one spajają się ze sobą w punktach zetknięcia; podnosząc jeden z nich, pociąga się jednocześnie pozostałe. Bryła lodu może być przepołowioną za pomocą zawieszonego na niej drutu żelaznego, który ciągną ku dołowi dwa ciężary, przymocowane do jego końców (fig. 419). Dwie połowy tej bryły spajają się napowrót w miarę jak drut przechodzi pomiędzy niemi i gdy ciężary spadły już na ziemię, można całą bryłę unieść za jedną z połów. Płaszczyznę spojenia

można odróżnić jedynie dzięki odbiciu, jakiemu światło ulega na jej powierzchni. Doświadczenie to, łatwe jak widzimy do powtórzenia, obmyślił J. Thomson.

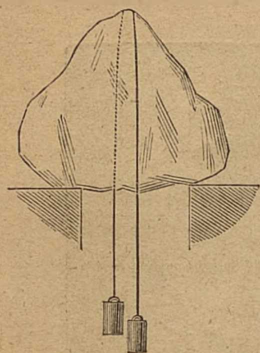


Fig. 419. Doświadczenie Thomsona.

Tyndall ściskał bardzo silnie kawałek lodu G (fig. 420) pomiędzy dwiema mocnemi deseczkami MM, zaopatrzonemi w wydrążenia CC, które razam dają jedną soczewkowatą jamkę. Z początku lód rozpada się na mnóstwo małych odłamków, które w ciągu kilku sekund spajają się i cała masa zamienia się w przezroczystą soczewkę, dokładnie wypełniającą ową jamkę. Przepuszczając prostą sztabę lodu kolejno przez szereg form coraz bardziej krzywych, można jej nadać kształt pierścienia. Tyndall otrzymał figury jeszcze bardziej złożone, lecz zawsze przezroczyste, tak jak gdyby lód był substancyą plastyczną.

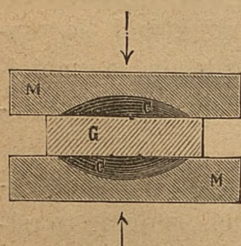


Fig. 420. Doświadczenie Tyndalla.

Pozorną tę plastyczność objaśnia nam fakt, o którym mówiliśmy w poprzednim paragrafie, a mianowicie, że lód ściskany topi się przy temperaturze niższej niż 0^{0}; wtedy częściowo zamienia się on w wodę, wskutek zaś utajania się przytem ciepła, temperatura się obniża. Powstała woda, ściśnięta i oziębiona, zostaje wpędzona do szczelin; tutaj ciśnienie jest mniejsze i temperatura podnosi się do zera tak, że woda marznie napowrót i spaja oddzielne kawałki lodu. Na mocy przytoczonych doświadczeń objaśnia się obecnie ruchy lodników oraz łatwość przybierania w pochodzie kształtu dolin, służących im za łożysko. Lód jest więc tylko pozornie substancyą plastyczną i pod tym względem różni się od ciał, które będąc ogrzewane przy stałem ciśnieniu, przechodzą przez stan ciastowato miękki.

§ 3. Wrzenie.

Gdy ogrzewamy ciała stałe do pewnej określonej temperatury, przechodzą one, jak widzieliśmy, w stan ciekły; gdy następnie ogrzewamy ciecze, to z początku one się rozszerzają, lecz po osiągnięciu pewnej temperatury ulegają zmianie, analogicznej do topienia, a mianowicie przechodzą w stan lotny, czyli zamieniają się w parę. Gdy np. ogrzewamy wodę mającą już 100^0, wtedy wewnątrz niej pojawiają się pęcherzyki, głównie na dnie i ścianach naczynia, które biegnąc do góry, podnoszą poczęści znajdującą się nad niemi wodę i powodują jej kipienie. Stają się one coraz większe, aż wreszcie, gdy dotkną powierzchni wody, pękają i zawarta w nich para uchodzi w powietrze. Powiadamy wtedy, że woda wrze. Przez dostatecznie długie gotowanie można w ten sposób całą ciecz zamienić w ciało lotne.

Ciała wrą przy ściśle określonej, charakterystycznej dla każdego z nich temperaturze, przyczem przyjmujemy, że znajdują się pod ciśnieniem zewnętrznej atmosfery, równem 760 milim. Temperatury wrzenia rozmaitych ciał różnią się nader znacznie pomiędzy sobą; niektóre ciała wrą przy względnie nizkiej temperaturze, jak eter siarczany (+ 36^0) alkohol (+ 78^0), a nawet poniżej 0^0 jak kwas siarkawy (— 10^0). Inne ciała wrą dopiero przy wyższej temperaturze jak rtęć (+ 350^0), olej lniany (+ 316^0), fosfor (+ 290^0). Są i takie ciała, jak trudno topliwe metale, których nie udało się jeszcze ogrzać do temperatury wrzenia, można jednak przypuścić, że i one mogłyby być doprowadzone do tego stanu, gdybyśmy znaleźli środki do wytworzenia dostatecznie wysokiej temperatury. Wreszcie istnieje pewna grupa ciał, których nie można doprowadzić do wrzenia dlatego, że przy wyższej temperaturze ulegają chemicznemu rozkładowi.

Wrzenie cieczy nietylko pod tym względem jest analogiczne do topienia, że poczyna się przy określonej temperaturze, lecz także i pod tym, że podczas wrzenia temperatura jest stałą, przy niezmiennem ciśnieniu. Zanurzywszy termometr we wrzącej

wodzie przekonywamy się, że—pomijając nieznaczne wahania— pokazuje on tę samą temperaturę dopóki woda wrze, spada zaś gdy wrzenie ustaje, a podnosi się tylko wtedy, gdy ogrzewamy dalej naczynie po wyparowaniu całej wody.

Ponieważ i tutaj ciepło z ogniska przechodzi do cieczy tak długo, dopóki się ją ogrzewa, wynika z tego, że i przy wrzeniu, to jest przy przejściu ciała ze stanu ciekłego w lotny, pewna ilość ciepła zostaje pochłoniętą czyli utajoną. Chcąc zamienić ciecz w ciało lotne nie dość jest ogrzać ją do temperatury wrzenia, należy ją bowiem dalej ogrzewać. Mniejsza lub większa ilość dostarczanego jej wtedy ciepła wpływa na przebieg procesu wrzenia w ten sposób, że przy silniejszem ogrzewaniu ciecz kipi mocniej i para uchodzi z niej w wielkiej ilości, przeciwnie przy słabszem ogrzewaniu, zjawisko jest powolniejsze i odbywa się stopniowo.

Podajemy tutaj temperaturę wrzenia dla niektórych ciał, pozostających pod ciśnieniem 760 milim.

Rtęć	350° C.	Benzol	80,4° C.
Olej lniany	316° „	Alkohol	78,4° „
Siarka	316° „	Eter octowy	74,3° „
Terpentyna	293° „	Siarek węgla	46,6° „
Fosfor	290° „	Eter siarczany	34,9° „
Jod	175° „	Bezwodny kwas siarczany	25° „
Woda	100° „	Aldehyd	20,8° „
Kwas azotny	86° „	Eter kwasu solnego	11° „

Powiedzieliśmy wyżej, że pomijając pewne wahania, temperatura wrzenia cieczy, przy niezmiennem ciśnieniu, jest stałą. Otóż jeżeli pod tem będziemy rozumieli temperaturę, jaką pokazuje termometr, zanurzony we wrzącej cieczy, to rzeczywiście znajdziemy tutaj wahania, albowiem rodzaj ścian naczynia, w którem wrze ciecz, wpływa wprawdzie nieznacznie, lecz wyraźnie na tę temperaturę. Gay-Lussac pierwszy badał dokładnie ten przedmiot i znalazł, że temperatura wody wrzącej w szklanem naczyniu jest wogóle wyższą od temperatury wody wrzącej w naczyniu metalowem. W tem ostatniem temperatura wody była zawsze równą 100°, niezależnie od kształtu i wielkości naczynia. Przeciwnie, w czystem szklanem naczyniu termometr

podniósł się do 101,23°; gdy do tegoż naczynia wprowadzono sproszkowane szkło, temperatura spadła do 100,33°, po wrzuceniu zaś opiłek metalowych spadła do 100°. Munke i Rudberg potwierdzili te rezultaty; pierwszy z nich podaje, że w naczyniach z różnych metali i różnego szkła temperatura wrzącej wody jest rozmaita, Rudberg zaś znalazł, że temperatura wody, wrzącej w żelaznem naczyniu, jest o 1,3° niższą niż w naczyniu szklanem.

Najrozleglejsze badania w tym kierunku przeprowadził Marcet; dowodził on, że temperatura wrzących cieczy zależy w znacznym stopniu od tego, czy dana ciecz przylega lub nie do ścian naczynia. Im silniejszem jest przyleganie danej cieczy do substancyi, z której naczynie jest zrobionem, tem wyższą jest temperatura wrzenia tejże cieczy. To nam objaśnia dlaczego woda wrze prędzej w naczyniu metalowem, aniżeli w szklanem oraz dlaczego jej punkt wrzenia spada po wrzuceniu opiłek żelaznych. Marcet pokrył wewnętrzną powierzchnię szklanej kolby cienką warstwą siarki i przekonał się, że woda w kolbie tej wrzała już przy 99,85°, podczas gdy przedtem, to jest w czystej kolbie, temperatura wrzenia wynosiła 101,2°. Po pociągnięciu wnętrza naczynia żelaznego lub miedzianego cienką warstwą gumy, zawarta w niem woda wrzała przy 99,8°. Oprócz tego Marcet urządzał jeszcze następujące doświadczenia. Do kolby z zielonego szkła, w której woda wrzała przy temperaturze 101°, wprowadził, po opróżnieniu z wody, stężony kwas siarczany i pozostawił tak przez kilka godzin, następnie przepłukiwał kolbę gorącą wodą tak długo, dopóki nie został w niej nawet ślad kwasu. Gdy potem w kolbie tej gotował dystylowaną wodę, przekonał się, że temperatura wrzenia podniosła się do 105° — 106° C. Podobny rezultat otrzymał z inną kolbą, na którą działał stężonym i gorącym roztworem potażu gryzącego: przed tem woda wrzała w kolbie przy temperaturze 101°, później zaś przy 103°. Działanie kwasu i potażu w tych doświadczeniach nietrudno nam będzie objaśnić, gdy przypomnimy sobie, że woda daleko silniej przylega do czystego szkła, niż do nieczystego. Kwas i potaż gryzący czyszczą doskonale kolbę, zabierają bowiem wszystkie przyle-

gające do niej cząstki, których nie można spłukać gorącą wodą. Z objaśnieniem tem zgadza się także fakt, że gdy do wody wrzącej przy 105° wrzucono odpadki żelazne, termometr zaraz spadł prawie do 100° i wrzenie stało się o wiele gwałtowniejsze. Gdy do wody, ogrzanej powyżej 100° i jeszcze nie wrzącej, wprowadzono takie odpadki, poczynała ona natychmiast gwałtownie wrzeć. Podobne rezultaty Marcet otrzymał także z innemi cieczami, które również podczas wrzenia posiadały rozmaitą temperaturę, zależnie od natury ścian naczynia, w którem wrzały. Tak np. temperatura wrzącego alkoholu (ciężar wł. 0,801) w metalowem naczyniu była równą 78,5°, w szklanej zaś kolbie wynosiła 79,20° [1]).

Pomimo tych różnic w temperaturze wrzących cieczy, zależnych od natury naczyń, możemy jednak twierdzić, że punkt wrzenia cieczy przy tem samem ciśnieniu jest stały, pod warunkiem, że temperaturą wrzenia będziemy nazywali nie tę temperaturę, jaką wskazuje termometr, zanurzony w samej cieczy, lecz tę *jaką pokazuje, gdy jest całkowicie otoczony parami wrzącej cieczy.* Rudberg oparł na tem przepis określania punktu wrzenia na termometrze, polegający jak widzieliśmy na tem, że przyrząd zanurza się jedynie w parze, wydobywającej się z wody, która wrze przy ciśnieniu 760 milim.

Doświadczenia Marceta, w których badał także temperaturę pary, pokazały w sposób bardzo przekonywujący, że podwyższenie temperatury wrzącej cieczy, zależne od ścianek naczynia, nie wpływa na temperaturę par tak, że ta ostatnia pod tem samem ciśnieniem jest zawsze stałą.

Lecz temperatura wrzenia cieczy zmienia się, gdy są w niej rozpuszczone pewne stałe substancye, które same się nie ulatniają, jak np. sole. Z roztworów solnych paruje jedynie czysta woda, jak to wynika z tego chociażby faktu, że przez wyparowanie takiego roztworu można otrzymać całą ilość zawartej w nim soli; w tym więc wypadku tylko woda przechodzi w stan lotny to jest

---

[1]) Wüllner. l. c. Do kwestyi tej powrócimy jeszcze przy objaśnieniu procesu wrzenia.

ona właściwie tylko wrze. Pomimo to jednak wodny roztwór solny wrze przy wyższej temperaturze, aniżeli czysta woda i to tem wyższej, im większą jest ilość rozpuszczonej soli. Fakt ten oddawna jest znany, lecz dopiero Legrand pierwszy zbadał dokładniej stosunek podwyższenia temperatury do ilości rozpuszczonych soli. Z tablicy obejmującej liczne rezultaty jego doświadczeń wyjmujemy dla przykładu niektóre tylko dane. I tak 39,7 części soli kuchennej rozpuszczone w 100 cz. wody podnoszą jej temperaturę wrzenia o 8°; 73,6 części chlorku wapnia w 100 częściach wody podnoszą tę temperaturę o 20° i takie same podwyższenie powodują 275,3 części azotanu amonu w 100 częściach wody. Co do temperatury pary z wrzących roztworów solnych, to Rudberg, na zasadzie całego szeregu swoich doświadczeń, przyjmował, że jest ona równą temperaturze pary, wydobywającej się z wrzącej czystej wody.

Twierdzono tedy, że para z wrzących roztworów solnych również posiada tylko temperaturę 100° i starano się na podstawie pewnych teoretycznych danych objaśnić dlaczego para z roztworu może jakoby być o kilkadziesiąt stopni mniej ciepłą, aniżeli sam roztwór. Dopiero Regnault wystąpił przeciwko temu twierdzeniu; wnioskował on, że ostatecznie nie można przypuścić, ażeby para z wrzącego roztworu miała tak uderzająco niższą temperaturę od temperatury górnych warstw roztworu. W istocie później Magnus dowiódł eksperymentalnie, że temperatura pary z wrzących roztworów solnych wynosi więcej niż 100°; w ogóle z doświadczeń Magnusa wynika, że temperatura takiej pary jest równa temperaturze samego roztworu czyli, że roztwory solne posiadają wyższy punkt wrzenia, aniżeli czysta woda.

Dotychczas mówiliśmy o wrzeniu cieczy przy ciśnieniu atmosferycznem, równem 760 milim i pod tym jedynie warunkiem przyjęliśmy, że punkt wrzenia jest stały dla jednej i tej samej cieczy, z wyjątkiem gdy są w niej rozpuszczone pewne substancye. Lecz punkt wrzenia cieczy zmienia się, gdy zewnętrzne działające na nią ciśnienie ulega zmianie. Można się o tem z łatwością przekonać gotując wodę w powietrzu atmosferycznem i mierząc — z zachowaniem pewnych ostrożności — temperatu-

rę pary, wydobywającej się wtedy z wody. Jedynie przy ciśnieniu 760 milim. temperatura pary jest równa 100°; przy słabszem ciśnieniu termometr wskazuje niższą temperaturę pary, przy silniejszem natomiast i punkt wrzenia się podnosi. Gdy ciśnienie barometryczne wynosi tylko 733 milim, woda wrze przy 99°, gdy ono jest równe 720 milim. wrze już przy 98,5°. Przeciwnie, gdy barometr podnosi się do 770 milim., temperatura pary równa 100,4°.

Za pomocą pompy powietrznej można urządzić niektóre doświadczenia, które dowodzą, że woda może wrzeć przy bardzo nizkiej temperaturze, jeżeli tylko zmniejszy się działające na nią ciśnienie. Ogrzejmy w naczyniu wodę do 50° i ustawmy je pod kloszem pompy powietrznej, a następnie rozrzedzajmy w nim powietrze dopóki manometr nie wskaże około 90 milim. ciśnienia; zobaczymy, że wtedy woda pocznie bardzo gwałtownie wrzeć, przyczem w całej jej masie pojawią się pęcherzyki pary, powiększające się i unoszące do góry, zupełnie tak samo jak w wypadku, gdy woda pod zwykłem ciśnieniem wrze przy 100°. Jeszcze wyraźniej można dowieść zależności punktu wrzenia od ciśnienia zewnętrznego przy użyciu przyrządu, przedstawionego na fig. 421.

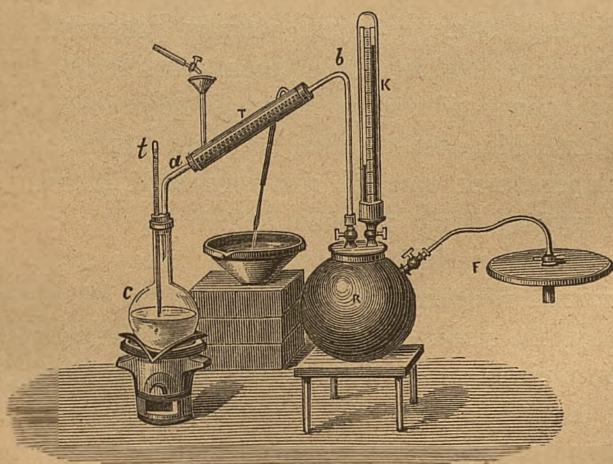
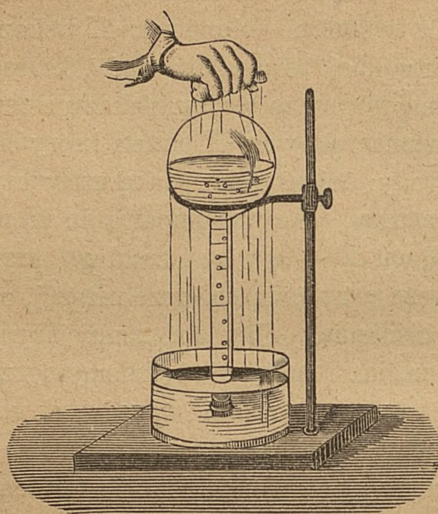


Fig. 421. Przyrząd służący do pokazania zależności punktu wrzenia od ciśnienia zewnętrznego.

Szklany balon *C*, do połowy napełniony wodą, komunikuje za pośrednictwem zgiętej rurki *ab* z dużym balonem *R*, w którym wytwarza się częściową próżnią za pomocą pompy powietrznej, stolik *F* której widoczny jest na rysunku. Manometr *K* wskazuje wielkość ciśnienia w przyrządzie, termometr zaś *t*, którego zbiornik jest zanurzony w górnej warstwie cieczy, pokazuje temperaturę. Rurka *ab* jest otoczona rękawem *T*, przez który ciągle przepływa prąd zimnej wody; dzięki temu rurkę utrzymuje się stale przy nizkiej temperaturze. Po wypompowaniu do pewnej granicy powietrza z balonu *R* — a więc i z całego przyrządu—woda w naczyniu *C* wrze przy temperaturze niższej, odpowiedniej do zmniejszonego ciśnienia. Gdy np. zmniejszymy ciśnienie w przyrządzie do 30 milim. i następnie będziemy ogrzewali wodę w naczyniu *C*, ta ostatnia pocznie wrzeć w chwili, gdy termometr dojdzie do 29°. Podczas wrzenia termometr wskazuje stale tę samę temperaturę, pod warunkiem, że ciśnienie nie ulega zmianie, z czego wynika, że punkt wrzenia w tym wypadku jest równie stały, jak pod ciśnieniem atmosfery. To samo stosuje się do innych cieczy. Gdy do balonu *C* wprowadzimy, zamiast wody, absolutny alkohol, zobaczymy, że pod ciśnieniem 30 milim. wrze on już przy 11° oraz, że temperatura wrzenia jest stałą, dopóki ciśnienie wewnątrz przyrządu się nie zmienia.

Wreszcie i bez pompy powietrznej można pokazać, jaka istnieje zależność pomiędzy temperaturą wrzenia cieczy i zewnętrznem ciśnieniem. Gotuje się mianowicie wodę w szklanej kolbie przez dość długi czas tak, ażeby powietrze wyszło z niej całkowicie i następnie szczelnie zakorkowuje. Po odjęciu kolby od ognia wrzenie wody ustaje. Lecz gdy po znacznem nawet oziębieniu kolby obrócimy ją dnem do góry (fig. 422) i będziemy leli na nią zimną wodę, ciecz w kolbie pocznie znów silnie wrzeć. Po zamknięciu bowiem kolby znajdowała się w niej jedynie woda oraz para wodna, cisnąca na nią tak samo jak powietrze. Pod wpływem oziębiającego wpływu zimnej wody część pary w kolbie skrapla się, przez co ciśnienie wewnątrz przyrządu zmniejsza się o tyle, że temperatura cieczy przewyższa wtedy jej tem-

peraturę wrzenia przy tem ciśnieniu i dlatego wrzenie znów się rozpoczyna.


Fig. 422 Wrzenie wody przy temperaturze niższej niż 100°

Podnoszenie się temperatury wrzenia przy powiększonem ciśnieniu znalazło praktyczne zastosowanie w tak zwanym kociołku Papina, w którym wrząca woda ma tak wysoką temperaturę, że można w niej rozgotowywać pewne substancye, jak koście, skórę, ścięgna, czego nie można osiągnąć z wodą mającą tylko 100°.

Kociołek Papina (fig. 423) składa się z żelaznego naczynia *T* o grubych ścianach, zaopatrzonego w pokrywę, którą można silnie przyszrubować. W pokrywie znajduje się mały otwór (*o*), który się zamyka za pomocą dopasowanego doń stożka, przymocowanego do dźwigni *l*. Ciężar *P*, zawieszony na dźwigni, wciska ten stożek do otworu z pewną siłą, zależną od długości dźwigni i zamyka go. Gdy ogrzewa się wodę w kociołku, wtedy para napełnia przestrzeń nad wodą i zbiera się tutaj tak długo, dopóki ciśnienie jej na ścianki nie staje się równem sile z jaką stożek jest wciskany do otworu;

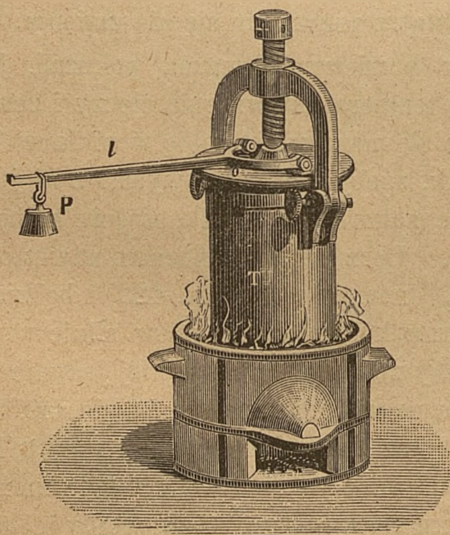


Fig. 423. Kociołek Papina.

tak długo także podnosi się stan ciepłoty wody, która wrze wtedy przy temperaturze, odpowiadającej temu ciśnieniu. Ciśnienie pod jakiem woda wrze oraz jej temperatura nie mogą — przy danej długości dźwigni — być wyższe. Gdy bowiem w kociołku nagromadza się więcej pary i ciśnienie jej staje się większe, wtedy stożek zostaje zaraz podniesiony i nadmiar pary wychodzi przez otwór *o*. W taki sposób woda wrze zawsze pod danem ciśnieniem, wywieranem przez stożek, jej zaś temperatura jest równa temperaturze wrzenia przy tem ciśnieniu.

Następujące doświadczenie Tyndalla stanowi ciekawy przykład, jak w niektórych warunkach wpływa zmiana temperatury wrzenia. Rura *A* 2 metry długa, dostatecznie wązka i zamknięta u dołu, otwiera się u góry do basenu *C D* (fig. 424 str. 718.) Napełniamy ją gorącą wodą, którą ogrzewamy od dołu za pomocą ogniska *B*. Temperatura potrzebna do tego, ażeby wywołać wrzenie cieczy w tem miejscu wynosi więcej niż 100^{0}, albowiem tutaj ciśnienie jest prawie równe 1,2 atmosfery. Ponieważ zaś ciepło przychodzi od dołu, oziębienie zaś może mieć miejsce tylko na swobodnej powierzchni cieczy w basenie *CD*, to temperatura słupa cieczy w rurce *A* powinna być coraz mniejsza w miarę posuwania się od dołu ku górze. W chwili gdy woda w *B* osiąga temperaturę wrzenia, tworzy się pęcherzyk pary, który podnosi ciecz, równowaga w całym słupie zostaje nagle naruszona, temperatura zaś każdej kropli wody staje się wyższą od temperatury normalnego wrzenia na wysokości, na jakiej kropla w danej chwili się znajduje. Wskutek tego wytwarza się taka obfitość pary, że większa część cieczy zostaje wyrzucona na zewnątrz pod postacią słupa wrzącej wody, który spada napowrót do basenu. Chłodniejsza woda z tego ostatniego wchodzi do rury i wrzenie nagle ustaje, lecz wkrótce znów się rozpoczyna i powoduje nowy wybuch.

Doświadczenie to jest jakby powtórzeniem zjawisk naturalnych, zachodzących we wnętrzu gejzerów w Islandyi. Bunsen badał jaknajstaranniej te szczególnego rodzaju studnie naturalne i udało mu się na krótki czas przed wybuchem dokonać mierzeń termometrycznych, na których oparł swą teoryę gejzerów.

Mierzenia te pokazały, że istnieje względne maximum temperatury w pewnym punkcie, leżącym bliżej dna naturalnej studni

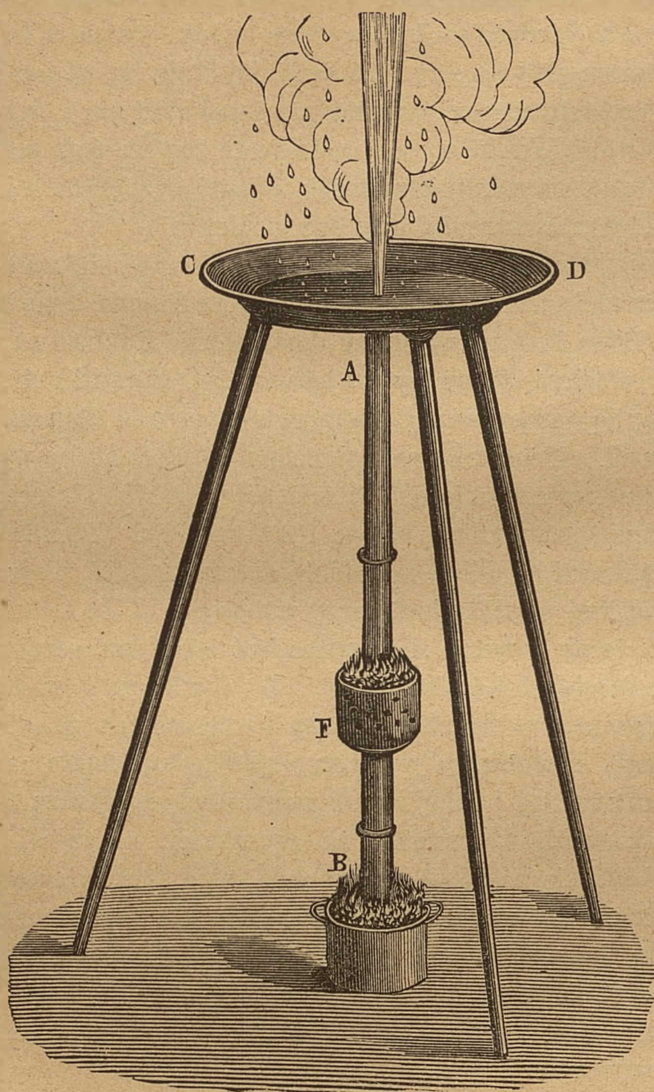


Fig. 424. Doświadczenie Tyndalla.

gejzeru aniżeli jej powierzchni. Chcąc odtworzyć aż do najdrobniejszych szczegółów warunki w tych naturalnych studniach,

Tyndall dodał do opisanego wyżej przyrządu ognisko *F*, mające naśladować to maximum temperatury [1]).

§ 4. Parowanie i własności par.

Ciecze przechodzą w stan lotny nietylko podczas wrzenia, lecz także przy temperaturze o wiele niższej; pęcherzyki pary nie wychodzą wtedy z wnętrza cieczy, a powstają jedynie na jej powierzchni. Wiadomo wszak, że ciecz zawarta w otwartem naczyniu i znajdująca się na wolnem powietrzu znika stopniowo; tłomaczymy to sobie przez stopniowe przechodzenie jej ze stanu ciekłego w lotny i powiadamy wtedy zwykle, że ciecz paruje. Parowanie poniżej temperatury wrzenia odbywa się o wiele wolniej, aniżeli zamiana w parę podczas wrzenia i to tem wolniej, im temperatura jest niższa od temperatury wrzenia. Widzimy tedy, że istnieje ważna różnica pomiędzy przechodzeniem ciał ze stanu stałego w ciekły, a przechodzeniem ich ze stanu ciekłego w lotny. Pierwsze ma miejsce tylko wtedy, gdy ciało jest ogrzane do temperatury topliwości, drugie zaś odbywa się przy każdej temperaturze; innemi słowy ciecze zawsze objawiają dążność do przechodzenia w stan lotny, tylko że dążność ta ujawnia się tem silniej, im wyższą jest ich temperatura, gdy zaś ta ostatnia dochodzi do temperatury wrzenia, wtedy pęcherzyki pary wydobywają się z całej masy cieczy. Lecz, jak wiemy, temperatura wrzenia zależy od ciśnienia, działającego na ciecz i jest tem wyższa, im ono jest większe. Podwyższanie tedy temperatury przezwycięża przeszkodę, jaką ciśnienie zewnętrzne stawia dążności cieczy do przechodzenia w stan lotny. Jakiego więc rodzaju rolę odgrywa w tym razie podwyższanie temperatury? Otóż przy danem ciśnieniu działa ono w taki sam sposób, jak zmniejszanie ciśnienia przy niższej temperaturze. Wpływ ten zrozumiemy lepiej gdy poznamy własności par. W tym celu wytwórzmy pary w przestrzeni, w której oprócz nich nic się już

---

[1]) Jamin, Cours de Physique, Tom II.

nie znajduje. Przestrzenią doskonale do tego się nadającą jest próżnia barometryczna. Ustawmy w jednem i tem samem naczyniu z rtęcią kilka starannie przygotowanych barometrów tak, ażeby utworzyły szereg barometrów naczyńkowych, o wspólnym zbiorniku; oczywiście, że rtęć będzie wtedy stała we wszystkich na jednakowym poziomie. Następnie wprowadźmy do jednego z nich (fig. 425, *B*) wodę, do drugiego (*C*) alkohol, do trzeciego (*D*) eter siarczany, a zobaczymy, że rtęć w barometrach tych natychmiast spadnie i to najwięcej w tym, który zawiera eter, najmniej zaś w tym, który zawiera wodę. Jeżeli temperatura otaczającego powietrza jest równa 20°, to obniżenie w barometrze *B* (woda) wynosi około 17 milim., w *C* (alkohol) 45 milim., zaś w *D* (eter) 435 milim. Podczas tego doświadczenia jeden z barometrów (*A*) pozostawiamy bez zmiany, ażeby mógł służyć do porównania wysokości słupów rtęci przed i po doświadczeniu.

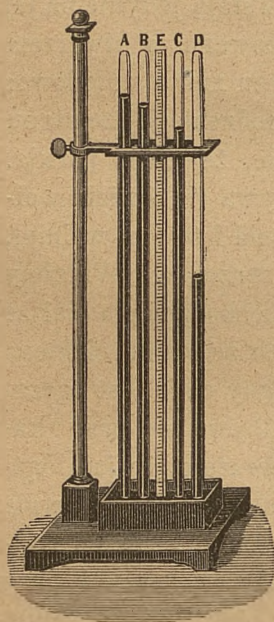


Fig. 425. Wpływ pary w próżni barometrycznej.

Obniżenie rtęci w barometrach pokazuje, że przez wprowadzenie cieczy wytwarza się w dotychczasowej próżni barometrycznej jakaś siła, która ciśnie na tę rtęć. Waga cieczy, wprowadzonych w małej ilości, nie może stanowić przyczyny ciśnienia, równego ciśnieniu słupa rtęci, mającego wysokość 17 (w barometrze z wodą) 45 (w barometrze z alkoholem) albo wreszcie 435 milimetrów (w barometrze z eterem). Wynika z tego, że obniżenie rtęci spowodowane jest przez ciśnienie pary, która przy danej temperaturze powstała z cieczy. Para ta zachowuje się tutaj jak gaz, podobnie bowiem jak ten ostatni objawia ona dążność do rozszerzania się. Zachodzi więc pytanie, czy własności par i gazów są identyczne, czy też istnieją pomiędzy niemi jakie różnice? Postaramy się odpowiedzieć

na to pytanie i rozważymy dwa wypadki: jeden, w którym barometr zawiera jedynie parę bez cieczy, drugi zaś, w którym barometr, oprócz pary, zawiera pewną ilość nieulotnionej cieczy.

W pierwszym razie można się posługiwać przyrządem, podobnym do tego, który używa się do badania gazów, pozostających pod ciśnieniem mniejszem od jednej atmosfery (patrz str. 168, figura 130) z tą różnicą, że górny koniec rurki barometrycznej, służącej do przyjmowania pary, jest zgięty kolankowato i zaopatrzony w kran. Koniec ten łączy się z małą kolbą, zawierającą eter. Po otwarciu kranu i zanurzeniu dolnego otwartego końca rurki w długiem naczyniu *PM* z rtęcią, gotuje się eter przez dość długi czas; pary eteru wychodzą przez dolny koniec rurki i zabierają ze sobą wszystko powietrze, zawarte w tej ostatniej oraz w kolbie. Następnie pozwalamy, ażeby przyrząd się oziębił i otaczamy wreszcie kolbę tłuczonym lodem. Wtedy prężność par szybko się zmniejsza, rtęć w rurce się podnosi i po niejakim czasie zatrzymuje się na poziomie, leżącym o 183 milimetry niżej, aniżeli poziom rtęci w zwykłym barometrze. Po zamknięciu kranu mamy więc w rurce ponad rtęcią pewną ilość par eteru, ciśnienie których przy temperaturze otaczającego powietrza wynosi około 183 milim.

Powtarzając z parami temi te same doświadczenia, które wykonywaliśmy w celu dowiedzenia słuszności prawa Boyle'a-Mariotte'a dla gazów pod ciśnieniem mniejszem od jednej atmosfery (patrz str. 169), przekonywamy się, że prawo to stosuje się również do par. Przyjmijmy, że temperatura otaczającego powietrza wynosi 20^0. Wcisnąwszy rurkę do długiego naczynia *PM* tak, ażeby pary eteru w niej zawarte, zajmowały tylko połowę pierwotnej swej objętości, widzimy, że rtęć w rurce się obniża, ciśnienie zaś pary wynosi w przybliżeniu 370 milim., to jest mniej więcej dwa razy tyle co poprzednio. Wyciągając zaś rurkę z długiego naczynia przekonywamy się, że ciśnienie pary zmniejsza się w takim samym stosunku, w jakim objętość się powiększa. Można dowieść także, że do par tych stosuje się również i prawo Gay-Lussac'a to jest, że rozszerzalność ich jest proporcyonalna do temperatury i że spółczynnik rozszerzalności

jest równy spółczynnikowi dla gazów. W tym celu otaczamy rurkę obszernym cylindrem, który napełniamy wodą o różnej temperaturze i obserwujemy ciśnienie, wywierane przez pary zawarte w rurce wtedy, gdy objętość ich jest stała.

Lecz prawo Boyle'a-Mariotte'a w zastosowaniu do par jest, podobnie jak i dla gazów tylko przybliżenie słusznem, a zboczenia są tem większe, im silniejszem jest ciśnienie, pod jakiem pary się znajdują, czyli im większą jest ich prężność. Gdy ciśnienie dochodzi do pewnej granicy, zależnej od temperatury, wtedy wspomniane prawo nie stosuje się nawet w przybliżeniu i *ciśnienie par nie zmienia się już ze zmianą objętości.* Wciśnijmy w powyższem doświadczeniu rurkę do długiego naczynia tak, ażeby prężność par doszła do 430 milim. Jeżeli potem będziemy jeszcze dalej zmniejszali objętość par, ciśnienie ich pozostanie to samo i *część pary przejdzie w stan ciekły.* Wtedy mamy już drugi z wymienionych wyżej wypadków, gdzie para styka się z nadmiarem nieulotnionej cieczy.

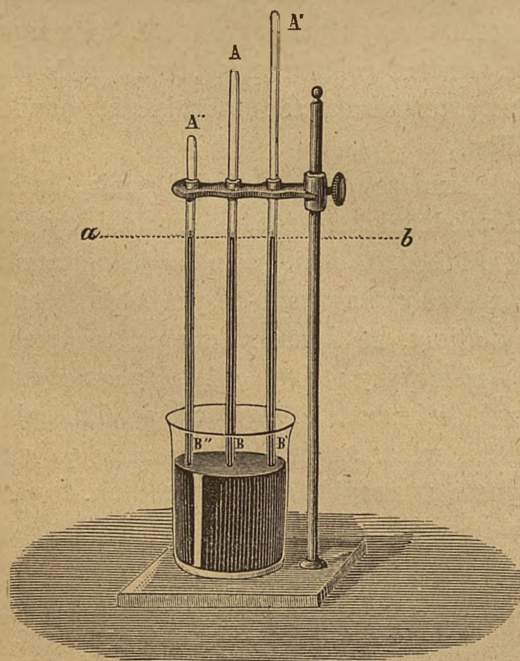


Fig. 426. Ciśnienie par nasyconych przy stałej temperaturze nie zmienia się.

W celu bliższego zbadania tego wypadku wprowadzamy do rurki barometrycznej *AB* (fig. 426) pewną ilość eteru, który parami swemi napełnia próżnię barometryczną. Jeżeli następnie wyciągniemy rurkę z naczynia tak, ażeby przyjęła położenie *A' B'*, przekonamy się, że poziom *ab* rtęci w niej zawartej pozostaje bez zmiany, niezależnie od wielkości przestrzeni ponad tą rtęcią, pod warunkiem, że w przestrzeni tej

znajduje się pewna ilość nieulotnionej cieczy. W przytoczonym przez nas przykładzie, to jest gdy rurka zawiera eter i temperatura wynosi 20⁰, wysokość aB słupa rtęci w rurce jest stale równa 330 milim. Wynika z tego, że dopóki w rurce barometrycznej znajduje się ciecz, przy każdem powiększeniu objętości tworzy się nowa ilość pary tak, że każda objętość natychmiast wypełnia się parą, mającą prężność 430 milim. (760—330). Zepchnąwszy rurkę tak, ażeby przyjęła położenie A'' B'' widzimy, że zmniejszenie objętości, zajętej przez parę, nie wpływa na powiększenie jej prężności, albowiem wysokość aB'', równa aB, pozostaje ta sama. W miarę zmniejszania objętości, zajętej przez parę, ta ostatnia skrapla się i gdy rurkę wciśniemy tak głęboko, że ciecz dojdzie w niej aż do zamkniętego jej końca, wtedy cała ilość pary zniknie. Doświadczenie to pokazuje, że jeżeli w danej przestrzeni znajdują się jednocześnie para i ciecz, to przy niezmiennej temperaturze dalsze ściskanie pary jest niemożliwe, albowiem przy każdem powiększeniu ciśnienia, część pary skrapla się, pozostała zaś część zachowuje stale tę samą prężność. Prężność ta jest największą, jaką para może osiągnąć przy danej temperaturze i dlatego stanowi ona tak zwane *maximum prężności*; przestrzeń zaś napełniona takiemi parami zowie się *nasyconą*. Pod prężnością pary cieczy przy danej temperaturze rozumiemy zwykle to maximum prężności.

Wpływ temperatury na pary w stanie nasycenia jest zupełnie inny, aniżeli na pary w stanie nienasyconym. Podwyższenie temperatury nietylko powiększa prężność pary nasyconej, już istniejącej, lecz powoduje utworzenie nowej jej ilości, mającej większą prężnośc tak, że ta ostatnia wzrasta o wiele szybciej, niż tego wymaga prawo Gay-Lussac'a. Przy każdej temperaturze pary cieczy posiadają określone maximum prężności, które wzrasta bardzo szybko i dla każdej cieczy według oddzielnego prawa. Podczas gdy prężność gazów i par w stanie nienasyconym zależy od objętości, jaką one zajmują oraz od temperatury, prężność par w stanie nasyconym zależy jedynie od temperatury przestrzeni, w której się znajdują. Jeżeli przestrzeń napełniona parami, stykającemi się z cieczą, posiada w różnych miejscach rozma-

itą temperaturę, wtedy występuje jeszcze inna różnica w zachowaniu się gazów i nasyconych par. A mianowicie prężnosć pary w takiej przestrzeni jest równa prężności, jaką para ta posiadałaby, gdyby cała przestrzeń miała tę temperaturę, jaką posiada w miejscu zimniejszem. Weźmy dwa balony *A* i *B* (fig. 427),

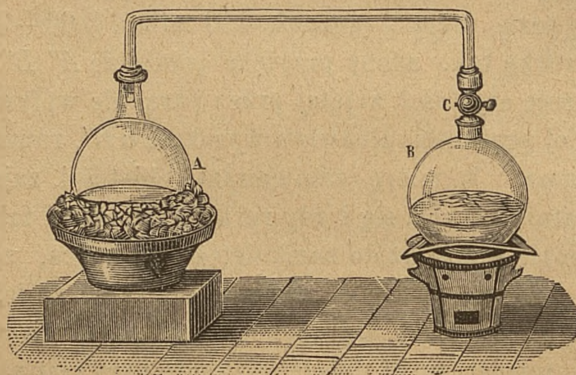


Fig. 427. Doświadczenie ilustrujące zasadę Watt'a.

z których pierwszy napełniony jest wodą, utrzymywaną przy 0°, drugi zaś wodą utrzymywaną przy 100°. Dopóki one nie komunikują ze sobą, prężność pary w balonie *A* jest równa 4,6 milim, w balonie zaś *B* równa 760 milim. Lecz po otwarciu krana *C*, para z balonu *B* przechodzi do balonu *A*, gdzie ulega po części skropleniu, dopóki prężność w całej przestrzeni nie stanie się równą 4,6 milim. W balonie *B* tworzy się nowa ilość pary, która znów ulega częściowemu skropleniu w balonie *A* i tak proces ten trwa, dopóki cała woda nie przedystyluje z jednego balonu do drugiego i dopóki prężność pary nie będzie jednostajnie równą maximum prężności przy temperaturze 0° to jest 4,6 milim. [1]).

§ 5. Mierzenie prężności par.

Prężność par, stykających się z cieczą, a szczególniej prężność par wodnych, była badaną wiele razy i przez różnych fizyków.

---

[1]) Wülner, l. c.

Istnieją dwie metody mierzenia prężności par przy rozmaitej temperaturze. Podług jednej wytwarza się pary w zamkniętej przestrzeni i obserwuje ciśnienie, wywierane przez nie przy danej temperaturze. Podług drugiej metody gotuje się ciecz przy określonem ciśnieniu i bada temperaturę wrzących par; ponieważ, jak wkrótce zobaczymy, temperatura wrzenia w ten sposób znaleziona jest właśnie temperaturą, przy której prężność par jest równa zewnętrznemu ciśnieniu, działającemu na ciecz, to wielkość tego ciśnienia, pod którem ona wrze, daje nam zarazem szukaną prężność par dla temperatury wrzenia.

Gay-Lussac określił prężność par wodnych przy temperaturach niższych od 0°, przyczem opierał się na wspomnianej przez nas zasadzie, że prężność par w przestrzeni niejednakowo ogrzanej jest równa prężności, jakąby one posiadały, gdyby cała przestrzeń miała niższą z dwóch temperatur. Gay-Lussac umieścił obok siebie w jednem naczyniu dwa barometry *A* i *C* (fig. 428); jeden z nich, zgięty u góry, był zanurzony w naczyniu *B*, napełnionem mieszaniną oziębiającą. Po wprowadzeniu wody ponad rtęć w barometrze *C*, woda ta przechodzi, jak wiemy, drogą parowania albo dystylacyi do tej części rurki barometrycznej, która znajduje się w mieszaninie oziębiającej i prężność pary jest zupełnie ta sama, jak gdyby cała przestrzeń, zajęta przez parę, była otoczona tą mieszaniną. Prężność pary mierzy się wtedy różnicą w wysokości słupów rtęci w obu barometrach, temperaturę zaś wskazuje termometr *t*, zanurzony w mieszaninie oziębiającej.

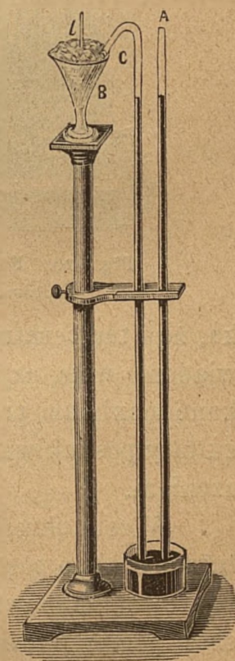


Fig. 428. Przyrząd Gay-Lussac'a do mierzenia prężności par.

Dalton mierzył prężność pary pomiędzy temperaturami 0° i 100°. Do zwykłego barometru *A* (fig. 429 str 726), wprowadzał małą ilość badanej cieczy i otaczał go na całej długości szklanym cylindrem; dno tego ostatniego stanowiła powierzchnia rtęci w naczyniu *M*, w którem zanurzony był również

barometr *A* oraz barometr *B*, służący do porównania. Cylinder napełniał wodą, którą ogrzewał od dołu za pomocą piecyka, temperaturę zaś pary, która tworzyła się w barometrze *A*, przyjmował jako równą temperaturze wody, mierzonej termometrem *T*. Następnie notował stopniowo na skali *E* obniżenie poziomu rtęci w barometrze *A*, starając się po każdej obserwacyi zredukować do zera wysokość rtęci w rurkach barometrycznych co, jak wiemy, jest konieczne z powodu rozszerzalności rtęci pod wpływem ciepła. Różnice w poziomach w obu barometrach pozwalały ocenić prężność pary w barometrze *A*. W taki sposób Dalton ułożył tablicę maximalnej prężności pary wodnej pomiędzy 0° i 100°.

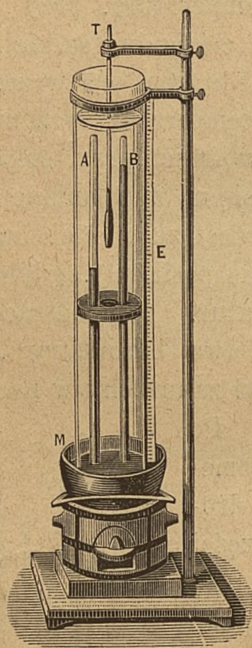


Fig. 429. Przyrząd Daltona.

Metoda Daltona nie jest dokładna z tego względu, że słup wody, mający wysokość barometru, nie może być tak ogrzanym, ażeby posiadał wszędzie jednakową temperaturę, z czego wynika, że i temperatura pary nie jest w tym razie ściśle znana, nie wiadomo więc, czy zaobserwowana prężność stanowi istotnie szukane maximum przy danej temperaturze. W samej rzeczy rezultaty poszukiwań Daltona nie odpowiadają nowszym doświadczeniom.

W celu określenia prężności pary przy wyższych temperaturach Dalton posługiwał się drugą z wymienionych metod, obserwował mianowicie temperaturę cieczy, które wrzały pod kloszem pompy powietrznej albo w ogóle pod określonem zewnętrznem ciśnieniem, lecz i ta metoda dała tylko przybliżenie prawdziwe rezultaty.

Opisane sposoby mierzenia prężności par nie nadają się do wypadków, w których temperatura cieczy o wiele przewyższa jej temperaturę wrzenia. Ponieważ oprócz obserwacyj, dość dokładnych jedynie dla celów technicznych, nie istniały pod tym względem żadne inne, to Arago i Dulong, zachęceni przez Akademię paryzką, przedsięwzięli badania w tym kierunku. Przyrząd używany przez tych fizyków przedstawiony jest w przecięciu na figurze 430. Mierzyli oni prężność pary bezpośrednio

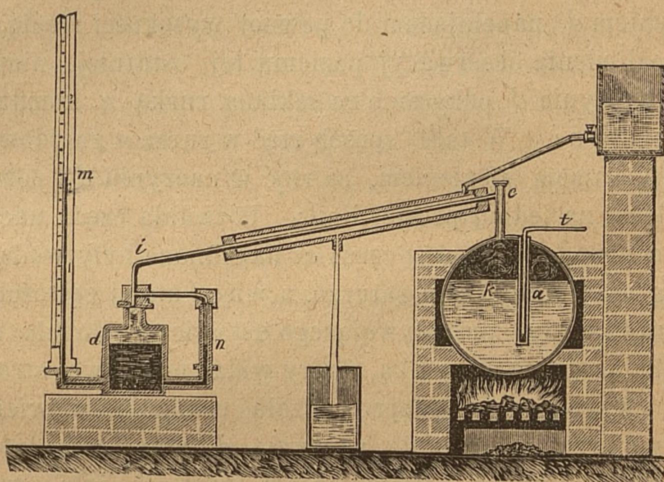


Fig. 430. Przyrząd Dulonga i Arago.

na mocy zmniejszenia objętości, jakiemu ulegała zamknięta ilość powietrza. Do wytwarzania pary służył wielki kocioł *k*, wmurowany w piec. W pokrywie kotla znajdowały się cztery otwory. Jeden z nich był zamknięty klapą bezpieczeństwa, na ktorej przesuwano ciężary odpowiednio do spodziewanego ciśnienia. Przez dwa inne otwory przechodziły zamknięte u dołu rurki, z których jedna *a*, widoczna na rysunku, dochodziła prawie do dna kotła, druga zaś sięgała tylko do jego połowy tak, że zawsze otoczona była tylko parą wodną; rurki te służyły jako rodzaj fu-

terałów dla dwóch termometrów, zbiorniki których—dzięki takiemu urządzeniu — nie podlegały ciśnieniu pary, a więc nie zmieniały swej objętości. Jeden z termometrów wskazywał temperaturę wody, drugi zaś temperaturę pary. W czwartym otworze kotła umocowana była rura, składająca się z części pionowej oraz pochyłej *ci* i otwierająca się do żelaznego naczynia *d*. Za pośrednictwem tej rury ciśnienie pary w kotle udzielało się manometrowi *m*, który składał się z takiej samej u góry zamkniętej rurki szklanej, jaka wspomnianym fizykom służyła do badań nad prawem Boyle'a-Mariotte'a. Manometr komunikował u dołu z naczyniem *d*, napełnionem do pewnej wysokości rtęcią, w celu zaś umożliwienia obserwacyj poziomu tej ostatniej, nieprzezroczyste naczynie *d* połączono ze szklaną rurką *n*, komunikującą także z rurą *c i*. W taki sposób rtęć w rurce *n* znajdowała się pod tem samem ciśnieniem, co rtęć w naczyniu *d* i poziom jej w obu leżał na jednej prostej linii. Pozostała część naczynia *d* i rurki *n* ponad rtęcią oraz część *ci* napełnione były wodą utrzymywaną przy stałej temperaturze, a więc i stałej gęstości za pomocą prądu wody, przepływającego ustawicznie dokoła rury *ci* i wyciekającego ze zbiornika, który widać po prawej stronie rysunku. A więc woda przeprowadzała ciśnienie, wywierane na nią przy *c* przez parę, aż do naczynia *d*, przez co podnosiła się rtęć w manometrze *m*. Zmniejszenie objętości, jakiemu ulegało zamknięte w nim powietrze, dawało miarę prężności pary, przyczem do ciśnienia, potrzebnego na zasadzie prawa Boyle'a-Mariotte'a do wywołania danego zmniejszenia objętości, dodawano ciśnienie słupa rtęci, wzniesionego w manometrze powyżej poziomu rtęci w naczyniu *d* i odejmowano ciśnienie słupa wody *cd*. Doświadczenia Dulonga i Arago obejmowały skalę termometryczną od 100^{0} do 224^{0}, ciśnienie zaś par dochodziło do 24 atmosfer.

Doświadczeniom tym można zrobić ten zarzut, że temperaturę pary obserwowano w kotle, gdy tymczasem ciśnienie wywierała ona w pionowej rurce *c*. Ponieważ nie ulega wątpliwości, że tutaj temperatura była niższa, aniżeli w kotle to — na zasadzie tego, że w niejednakowo ogrzanej przestrzeni prężność

nie może być wyższą od tej, jaka istnieje w zimniejszej części— zaobserwowana prężność pary była za małą czyli odpowiadała temperaturze niższej od tej, jaką wskazywał termometr. Okoliczność ta, również jak i różnice w rezultatach, znalezionych przez rozmaitych eksperymentatorów, skłoniły Magnusa i Regnault'a do przedsięwzięcia nowych badań nad prężnością par. Uczeni ci posługiwali się różnemi metodami, lecz doszli do identycznych prawie rezultatów, przez co została dowiedzioną dokładność ich badań oraz stwierdzoną liczebna wartość prężności pary wodnej.

Regnault uciekał się do trzech metod przy badaniu prężności par. Dla temperatur niższych od punktu zamarzania wody posługiwał się on metodą Gay-Lussac'a, dla temperatur pomiędzy 0^0 i 58^0 metodą używaną już przez Watt'a, dla wyższych zaś temperatur wreszcie metodą Daltona, lecz znakomicie ulepszoną. Rozpatrzymy bliżej tylko ostatnią, zasada której, jak wiemy, polega na obserwowaniu temperatury wrzenia cieczy pod danem ciśnieniem. Ponieważ prężność pary z wrzącej cieczy, jest równa zewnętrznemu ciśnieniu, to wielkość jego daje nam szukaną prężność przy danej temperaturze wrzenia. (Figura 431 str. 730), przedstawia przyrząd Regnault'a. Do gotowania cieczy służy miedziana retorta *C*, ustawiona na piecyku i szczelnie zamknięta pokrywką. Szyjka retorty łączy się z rurką *A B*, otoczoną aparatem oziębiającym *D*, przez który przepływa ciągły strumień zimnej wody, a to w celu stałego utrzymania jej przy nizkiej temperaturze. Rura *AB* komunikuje z dużym balonem *M* o 24 litrach objętości, umieszczonym z kolei w obszernem naczyniu *K* pełnem wody o temperaturze otoczenia. Balon przedłuża się w dwuramienną rurkę. Jedno ramię (poziome) łączy się z manometrem *O*, w którym różnica w wysokości słupów rtęci w obu kolanach wskazuje wielkość ciśnienia wewnątrz przyrządu. Drugie ramię (pionowe), zaopatrzone w kran, łączy się za pomocą rurki *HH'* z pompą powietrzną albo — gdy prężność par ma być obserwowaną powyżej 100^0 — z pompą ściskającą. Przez to można w balonie *M*, a więc także w retorcie *A*, wytwarzać

dowolne ciśnienie. Do określania temperatury wrzenia służą cztery termometry rtęciowe, osadzone podobnie jak termometry w przyrządzie Dulonga i Arago, od pokrywki mianowicie schodzą

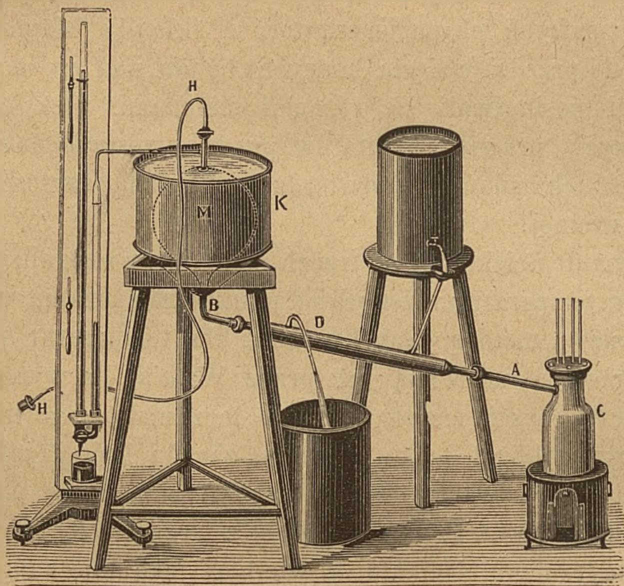


Fig. 431. Przyrząd Regnault'a.

do retorty cztery zamknięte u dołu rurki żelazne, z których dwie sięgają aż do wody, dwie zaś otoczone są tylko parą. Rurki te są prawie całkowicie napełnione rtęcią, w której zanurza się termometry.

Doświadczenie rozpoczynano od tego, że przez wypompowywanie lub wciskanie powietrza do balonu *M* wytwarzano wewnątrz przyrządu pewne określone ciśnienie i następnie ogrzewano retortę. Para, tworząca się wskutek ogrzewania, nie mogła zmieniać danego ciśnienia, albowiem ulegała skropleniu w rurce *A B*. Retortę ogrzewano tak długo, dopóki termometry nie wskazywały stałej temperatury, to jest dopóki ciecz zawarta w retorcie nie poczynała wrzeć, jak wiemy bowiem, ciecz albo para z niej wychodząca, tylko wtedy nie ogrzewa się przy dalszym dopływie ciepła, gdy znajduje się w stanie wrzenia. Ponieważ wrzenie można było podtrzymywać tak długo, jak się podobało,

albowiem ulotniona ciecz, po skropleniu w rurce $A\ B$, powracała do retorty, to mierzenie temperatury oraz odpowiadającego jej ciśnienia mogło być dokonywane z wielką ścisłością. To właśnie stanowi ogromną zaletę metody Regnault'a w obec wszystkich innych metod mierzenia prężności pary.

Prężność pary wodnej, szczególnie ważna tak ze względów naukowych, jakoteż i technicznych, była przedmiotem najliczniejszych badań. Co do rezultatów, podamy tylko te, które znalazł Regnault. Następująca tablica obejmuje maximum prężności pary wodnej począwszy od temperatury — 10° do 230°; liczby od — 10° do 100° zostały znalezione za pomocą tylko co opisanego przyrządu, liczby zaś od 100° do 230°,9 obliczono na mocy formuły matematycznej, w którą tutaj wchodzić nie możemy.

Prężność pary wodnej od — 10° do 100°.

Temperatura.	Prężność w milimetrach rtęci przy zerze.	Temperatura.	Prężność w milimetrach rtęci przy zerze.
— 10°	2,093	50°	91,982
— 5	3,131	55	117.478
0	4,600	60	148,791
+ 5	6,534	65	186 945
10	9,165	70	233,093
15	12,699	75	288 517
20	17,391	80	354,643
25	23.550	85	433,041
30	31,548	90	525,450
35	41,827	95	633,778
40	54,906	100	760,000
45	71,391		

Prężność pary od 100° do 230,9 podana w atmosferach.

Temperatura.	Liczba atmosfer.	Temperatura.	Liczba atmosfer.
100,0°	1	198,8°	15
120,6	2	201,9	16
133,9	3	204,9	17

Temperatura.	Liczba atmosfer.	Temperatura.	Liczba atmosfer.
144,0°	4	207,7°	18
152,2	5	210,4	19
159,2	6	213,6	20
165,3	7	215.5	21
170,8	8	217,9	22
175.8	9	220,8	23
180,3	10	222,5	24
184,5	11	224,7	25
188,4	12	226,8	26
192,1	13	228,9	27
195,5	14	230.9	28

Tablice te pokazują, że prężność pary wodnej wzrasta daleko szybciej, aniżeli temperatura.

Podane wartości prężności pary wodnej stosują się tylko do czystej wody, lecz nie do takiej, która zawiera np. sole rozpuszczone albo inne jakie substancye, nie dające pary. Prężność pary z roztworów jest zawsze mniejsza od prężności pary z czystej wody. Fakt ten dawno już zauważono, lecz w nowszych dopiero czasach zajęto się bliższem jego zbadaniem. Liczne doświadczenia Wüllnera pokazały, że rozpuszczone substancye zmniejszają prężność pary proporcyonalnie do swej ilości. Itak: 10 cz. soli kuchennej, rozpuszczone w 100 cz. wody, zmniejszają prężność pary o 0,06 prężności wody przy tej samej temperaturze; 20 cz. soli w 100 cz. wody zmniejszają ją o 0,12 i 30 cz. soli o 0,18 prężności pary z czystej wody przy jednakowej temperaturze. To samo stosuje się do wszystkich roztworów tak, że w ogóle można powiedzieć: jeżeli zmniejszenie prężności przy danej temperaturze i jednej części soli rozpuszczonej w 100 cz. wody jest równe a, to przy tej temperaturze i p częściach soli w 100 cz. wody zmniejszenie prężności jest p razy większe, czyli wynosi $p.\ a$. Co do wpływu w danym razie ciepła, to zmniejszenie prężności pary wodnej przez określoną ilość soli jest rozmaite dla różnych temperatur; dokładne prawo nie jest tutaj znane, wiadomo tylko, że zmniejszenia wzrastają wraz z temperaturą.

Podane tutaj fakty o prężności pary z roztworów solnych objaśniają nam przyczynę podnoszenia się ich punktu wrzenia. Przy jednej i tej samej temperaturze para, wydobywająca się z takich roztworów i leżąca nad niemi, posiada prężność mniejszą, aniżeli para z czystej wody, gdy więc obydwie mają posiadać tę samę prężność, temperatura wrzenia roztworów czyli temperatura, przy której prężność ich pary jest równa zewnętrznemu ciśnieniu, równemu np. 760 milim., musi być wyższa. Jednocześnie także temperatura samej pary, wbrew przypuszczeniu Rudberga musi wynosić w danym razie więcej niż 100°. Jeżeli bowiem prężność par wodnych, leżących nad roztworem solnym, jest mniejsza od prężności par czystej wody, wynika z tego, że po nad roztworem para wodna nie znajduje się w stanie swej maximalnej prężności, albo raczej, że wskutek przyciągania ze strony soli osiąga maximum przy niższej prężności. Skoro więc para ta ma osiągnąć wyższą prężność, musi ona stać się cieplejszą, albowiem pod wpływem ogrzewania para o danej gęstości staje się coraz bardziej rozprężliwą. Jak widzieliśmy wyżej (patrz str. 713) Magnus istotnie dowiódł, że para z roztworów posiada wyższą temperaturę, aniżeli para z czystej wody.

Pierwszym, który badał jeszcze inne pary, oprócz wodnych, był Betancourt. Określił on prężność par alkoholu i porównawszy ją z prężnością pary wodnej wywnioskował, że pierwsza przy każdej temperaturze jest 2,333 razy większa od drugiej, czyli że stosunek wzajemny dwóch tych prężności jest zawsze jeden i ten sam. Wniosek ten jednak został obalony przez Daltona. Ten ostatni na zasadzie doświadczeń nad sześcioma cieczami wygłosił inne prawo, zwane prawem Daltona, podług którego *prężność pary wszystkich cieczy, jednakowo oddalonych od swych punktów wrzenia, jest jednakowa.* I tak np. alkohol wrze przy 78,4° i wtedy prężność jego pary, równa 760 milim, równa także prężności pary wodnej przy 100°. Otóż, podług wymienionego prawa prężność par alkoholu przy 68,4° jest równa prężności pary wodnej przy 90°; prężność par alkoholu przy 58,4° równa prężności par wodnych przy 80° i tak dalej powyżej albo poniżej

temperatury wrzenia. Gdyby prawo to było słuszne, wtedy, znając prężność par wodnych oraz temperaturę wrzenia danej cieczy, możnaby było z łatwością obliczać prężność par tej cieczy przy każdej temperaturze. Lecz liczne doświadczenia Ure'a obaliły prawo Daltona, które przed tem jeszcze podawane było w wątpliwość. Ure pokazał, że nie istnieje żadne ogólne prawo, dotyczące prężności różnych cieczy, które pozwalałoby ją określać ze znanych już własności albo z temperatury wrzenia. To samo wynika także z nowszych doświadczeń Regnault'a, który badał znaczną ilość cieczy. Niemniej przeto nie można twierdzić, że prężność par cieczy nie znajduje się w żadnym ogólnym związku z pewnemi ich własnościami, ilość bowiem zbadanych substancyi jest jeszcze zbyt mała, ażeby rezultaty pozwoliły na takie twierdzenie. Kwestyę tę, mającą pierwszorzędne znaczenie dla nauki o cieple, mogą roztrzygnąć tylko dalsze badania empiryczne.

Podajemy tutaj prężność par niektórych cieczy podług Regnault'a.

Temperatura.	Alkohol.	Eter	Siarek węgla.	Chloroform.
— 20°	3,34 m.	68,90 m.	47,30 m.	—
0	12 70 „	184,39 „	127,91 „	—
30	78,52 „	634.80 „	434 62 „	247,51 m.
50	219,90 „	1264.83 „	857,07 „	535,05 „
80	812,91 „	3022,79 „	2032,53 „	1407,64 „
100	1697,55 „	4953,30 „	3325,15 „	2428.54 „
120	3231,73 „	7719,20 „	5148,79 „	3925,74 „
150	7318,40 „	—	9065,94 „	7280 62 „
165	—	—	—	9527,82 „

Ciekawe są następujące dane o prężności par rtęciowych.

Temperatura.	Prężność par rtęci.
0°	0.020 milim.
20	0,037 „
60	0.164 „
80	0,353 „
100	0,746 „

Temperatura.	Prężność par rtęci.
150°	4,266 milim.
250	75, 75 „
350	663, 18 „
450	3384, 35 „
520	8264, 96 „

Widzimy, że prężność par rtęciowych do 100° jest nader nieznaczna tak, że przy mierzeniu ciśnień za pomocą manometrów rtęciowych i przy zwykłej temperaturze można ją zupełnie pomijać. W każdym jednak razie nie należy wnosić z tego, że pary rtęciowe w stanie rozrzedzenia, w jakim znajdują się w pracowniach, w których często ma się do czynienia z rtęcią, nie wywierają żadnego wpływu. Skonstatowano, że nawet przy —40° rtęć wytwarza parę, która rozchodzi się w powietrzu. Merget dowiódł jej obecności przy tej temperaturze i do pewnego stopnia zmierzył ilość jej za pomocą bardzo czułego odczynnika, amoniakalnego azotanu srebra, który ulega redukcyi przez pary rtęciowe.

Z kwestyą prężności par rozmaitych cieczy łączy się pytanie, jaka jest prężność par, wydzielających się z mieszaniny kilku cieczy. Przez długi czas sądzono, że pary takie zachowują się podobnie jak gazy, to jest, że prężność mieszaniny par równa sumie prężności pojedyńczych jej części składowych (patrz str. 171). Lecz Magnus dowiódł, że stosuje się to jedynie do takich cieczy, które nie mieszają się ze sobą, jak np. woda i oliwa. Dla cieczy zmieszanych pokazał on, że prężność par mieszaniny jest znacznie mniejsza i że nawet nie dorównywa prężności pary cieczy bardziej lotnej. Znalazł on np., że prężność pary eteru, zawartej w barometrze, natychmiast się zmniejszała po dodaniu do eteru alkoholu oraz, że prężność mieszaniny zbliżała się tembardziej do prężności alkoholu, im więcej dodawano tego ostatniego.

Regnault, który również zajmował się tym przedmiotem, potwierdził i rozszerzył badania Magnusa. Tak np. dla wody i eteru, które mieszają się ze sobą w ograniczonej ilości, Regnault znalazł, że prężność par takiej mieszaniny przy temperaturze 33,08° jest równa 710,02 milim., podczas gdy prężność pary

wodnej przy tej samej temperaturze wynosi 37,58 milim., prężność zaś pary eteru 711,6 milim.

Wreszcie Wüllner badał ciecze, które mieszają się ze sobą we wszystkich stosunkach i znalazł, że w tym wypadku zmniejszenie prężności występuje jeszcze wyraźniej, aniżeli w dwóch poprzednich. Stosunek prężności każdej mieszaniny do sumy prężności pojedynczych jej części składowych posiada stałą wartość, przynajmniej w razach, gdy zmieszane ciecze wzięte są w ilościach mniej więcej jednakowych. Prawo to nie jest zaś zupełnie ścisłem w wypadku, gdy jedna z cieczy w mieszaninie jest wzięta w znacznej ilości.

§ 6. Gęstość par. Mieszanina par i gazów. Hygrometrya.

Gęstością pary nazywamy stosunek wagi danej objętości pary przy określonej temperaturze i ciśnieniu do wagi równej objętości powietrza atmosferycznego przy tych samych warunkach temperatury i ciśnienia. Jeżeli p oznacza wagę pewnej objętości v pary, mającej temperaturę t i prężność f, a p' oznacza wagę równej objętości powietrza przy tej samej temperaturze i prężności, to gęstość d pary jest równa stosunkowi dwóch tych wartości, czyli $d = \frac{p}{p'}$. Wagę p' objętości powietrza przy temperaturze t i prężności f oblicza się na zasadzie formuły, w którą wchodzą waga jednego sześciennego centymetra powietrza oraz spółczynnik jego rozszerzalności.

Zbadajmy tedy, czy pary, do chwili skroplenia, ulegają prawom Boyle'a-Mariotte'a i Gay-Lussac'a w tym samym stopniu przybliżenia, co gazy. Gdyby tak było, to gęstość par, określona w przytoczony sposób, byłaby zawsze mniej więcej ta sama, niezależnie od ich temperatury, ciśnienia pod jakiem się znajdują oraz od tego, czy prężność ich jest maximalną lub nie maximalną; zboczenia nie byłyby większe od tych, o jakich wspominaliśmy przy gazach (patrz str. 684 i 688), które także nie zupełnie ściśle ulegają wymienionym dwóm prawom. Zbadanie gęstości par da nam daleko pewniejsze wskazówki co do ich zachowania się,

Roznosiciele mają Prospekty i Zeszyty na okaz!

Дозволено Цензурою, Варшава 21 Апрѣля 1889 г.

Druk Jana Cotty w Warszawie, Senatorska 29.

Cena 20 kop.

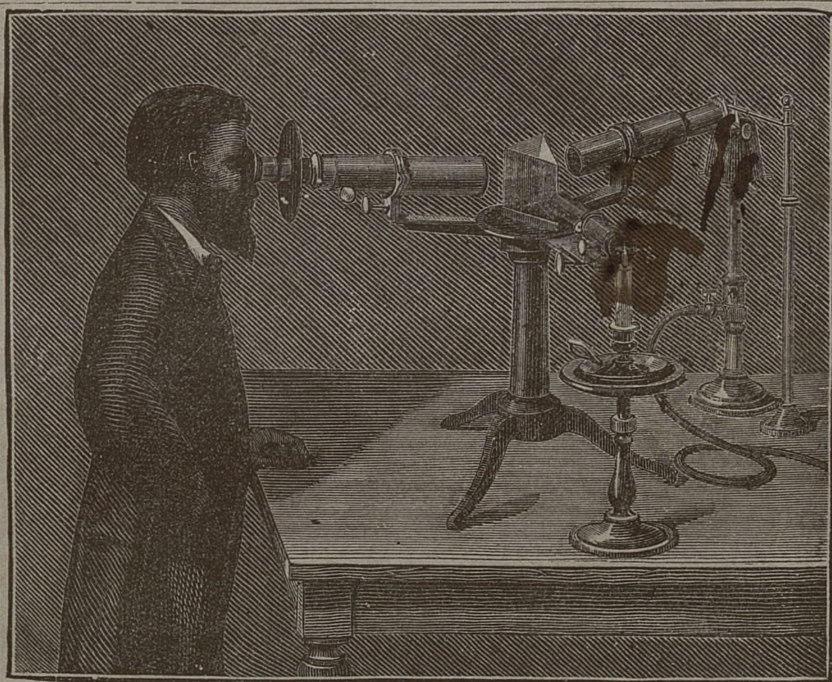
Zeszyt 24.

Cena 20 kop.

SIŁY PRZYRODY.

POPULARNY WYKŁAD FIZYKI

I GŁÓWNIEJSZYCH JEJ ZASTOSOWAŃ.



Spektroskop.

Podług dzieła A. Guillemin'a „Le monde physique"

OPRACOWALI

Józefowa Nusbaum

bak. n. prz.

i

Henryk Silberstein

dr. fil., b. as. chem. przy un. w Bernie.

WARSZAWA.

Nakładem Księgarni **H. Olawskiego**, ul. Mazowiecka № 6.

1889.

aniżeli opisane w jednym z poprzednich paragrafów doświadczenia, które pokazały nam różnicę pomiędzy parą w stanie nasyconym i nienasyconym.

Chcąc oznaczyć gęstość pary należy — stosownie do powyższej formuły — określić cztery wielkości, a mianowicie wagę *p* badanej pary, jej objętość *v*, temperaturę *t* oraz ciśnienie *f*, pod jakiem się znajduje. Do określeń tych służą głównie dwie metody. Pierwsza Gay-Lussac'a polega na tem, że oznacza się objętość, jaką przy danej temperaturze i prężności zajmuje para zważonej ilości cieczy; nadaje się ona szczególniej do badania par cieczy bardzo lotnych. Druga metoda Dumasa, pozwala bezpośrednio określić wagę znanej objętości pary przy danej temperaturze i ciśnieniu.

Figura 432 przedstawia przyrząd, używany przez Gay-Lussac'a. W żelaznem naczyniu *P*, napełnionem do połowy rtęcią, zanurzony jest dolny otwarty koniec szerokiej szklanej rury *C*, u góry zamkniętej i na początku doświadczenia całkowicie napełnionej rtęcią. Rurę tę, dokładnie podzieloną na sześcienne centymetry, otacza szklany rękaw *M*, również zanurzony dolnym otwartym końcem w naczyniu *P*; rękaw ten napełniony jest wodą, utrzymywaną w ciągłym ruchu za pomocą mieszadła, przez co temperatura jej jest wszędzie jednakowa. Temperaturę wody wskazuje termometr *T*. Cały przyrząd stawia się na piecyku i ogrzewa do żądanej temperatury. Do rury *C* wprowadza się odważoną ilość cieczy, następnie zaś określa objętość, jaką przy danej temperaturze i prężności zajmuje powstała z niej para. W tym celu przygotowuje się małe kulki z bardzo cienkiego szkła (*A*), przedłużone na jednym końcu w nader cienką rureczkę i określa ich wagę, poczem napełnia się je badaną

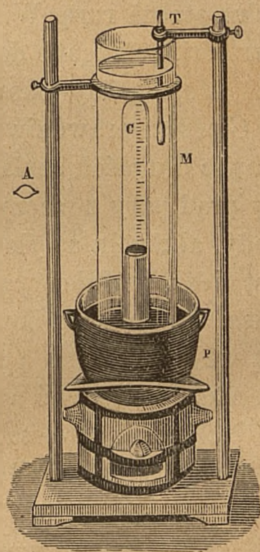


Fig. 432. Określenie gęstości par. Przyrząd Gay-Lussac'a.

cieczą i zalutowuje koniec rureczki. Zważywszy kulkę powtórnie otrzymuje się różnicę jej wagi gdy jest napełniona i pusta, a różnica ta daje wagę wprowadzonej cieczy. Kulkę taką wprowadza się do rury *C* wtedy, gdy ta nie jest jeszcze otoczona rękawem *M*. Gdy następnie ognisko piecyka ogrzewa przyrząd, zawarta w kulce ciecz rozszerza się, kulka pęka i ciecz zamienia się w parę. Szukana waga p tej pary jest wtedy równa wadze wprowadzonej do kulki cieczy. Objętość v pary otrzymuje się przez obserwacyę podziałki, przy której zatrzymuje się rtęć w rurce *C*; jeżeli objętość odczytana w ten sposób jest równa V_0 sześciennym centymetrom, α jest spółczynnikiem rozszerzalności szkła i t jego temperaturą, to istotna objętość pary przy tej temperaturze jest rowna jak wiemy $V_0 (1 + \alpha t)$. Prężność f pary jest równa różnicy (zredukowanej do 0°) pomiędzy wysokością słupa rtęci w barometrze i jego wysokością w rurze *C*, wreszcie temperaturę t pary wskazuje termometr zanurzony w wodzie, która otacza rurę. W taki sposób otrzymuje się wszystkie cztery wartości, potrzebne do oznaczenia gęstości pary.

Metodę Gay-Lussac'a zmodyfikował Hofman; zastąpił on rurę *C* przez prawdziwą rurkę barometryczną, otoczoną na całej prawie długości szklanym rękawem, przez który przechodzi ciągły prąd pary z cieczy o znanej temperaturze wrzenia, jak np. wody, alkoholu amylowego, aniliny. Taki system ogrzewania jest jednocześnie wygodniejszy i dokładniejszy od systemu Gay-Lussac'a, pozwala bowiem otrzymać temperaturę ściśle jednakową we wszystkich punktach rurki, czego bez użycia mieszadła nie można osiągnąć w doświadczeniu Gay-Lussac'a.

Metoda tego ostatniego, nawet ulepszona przez Hofmana, nie daje się zastosować do cieczy, których temperatura wrzenia wynosi więcej niż 160°, 150°, a nawet niż 100°, albowiem powyżej tej temperatury wpływ prężności par rtęciowych, zawartych w tej samej rurze, co i badana para, nie może już być pominięty. Podobna przyczyna pomyłki nie istnieje w metodzie Dumasa. Przyrząd przez niego używany przedstawiony jest na figurze 433 (str. 739). Do balonu *B*, wyciągniętego w cienką szyjkę i dokładnie zważonego, wprowadza się dostateczną ilość substan-

cyi, której gęstość pary ma być oznaczoną i umieszcza go między dwoma pierścieniami, przymocowanemi do żelaznej nóżki, którą można przesuwać wzdłuż pręta *E*. Następnie zanurza się balon w kąpieli *F* z oliwy albo też z łatwo topliwego aliażu czyli stopu metalowego, zależnie od mniej lub więcej wysokiego punktu wrzenia badanej substancyi. Po dostatecznem ogrzaniu kąpieli, substancya w balonie poczyna gwałtownie wrzeć i przez szyjkę wychodzi silny prąd pary. Gdy już cała ilość substancyi ulotniła się, co poznaje się potem, że ów prąd pary ustaje, zalutowuje się koniec szyjki i jednocześnie obserwuje stan barometru oraz temperaturę kąpieli, jaką pokazuje zanurzony w niej podczas doświadczenia termometr *D*. Podczas wrzenia cieczy w balonie, wychodzący z niego prąd pary zabiera z sobą wszystko powietrze tak, że po zalutowaniu wnętrze jego wypełnione jest tylko parą, której temperatura *t* równa temperaturze kąpieli, prężność zaś *f* — ciśnieniu barometrycznemu w chwili zamknięcia balonu. Mając te dwie dane należy jeszcze określić wagę *p* oraz objętość *v* pary, zawartej w balonie. W celu otrzymania pierwszej waży się zalutowany balon po oziębieniu, a różnica w wadze przed i po napełnieniu go parą daje szukaną wagę *p*. Następnie oblicza się objętość balonu przy 0°, zkąd łatwo już znaleść objętość jego przy temperaturze kąpieli, a więc także objętość *v* napełniającej go przy tej temperaturze pary.

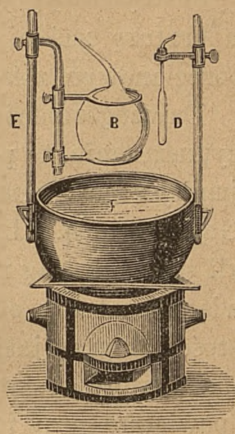


Fig. 433. Określenie gęstości par. Przyrząd Dumasa.

W celu zastosowania metody Dumasa do substancyj, które wrą dopiero przy bardzo wysokiej temperaturze, Sainte-Claire Deville i Troost zmodyfikowali ją w ten sposób, że balon szklany zastąpili porcelanowym, zamiast zaś kąpieli ciekłych używali pewnego rodzaju piecyków wypełnionych parami, które dawały zmienną lecz ciągłą temperaturę, gdy gotowano w nich jednę i tę samę ciecz przy zmiennem ciśnieniu, albo też szereg temperatur przerywany przy gotowaniu rozmaitych cieczy pod ciśnieniem

atmosferycznem. Deville i Troost otrzymali w taki sposób następujący szereg temperatur: Pary rtęci dawały 350°, siarki 440°, kadmu 815°, cynku 930°. Uczeni ci osiągnęli w doświadczeniach swych temperaturę 1000°, przyczem balony ogrzewali w glinianych tyglach, umieszczanych w odpowiednich piecach, temperaturę zaś mierzyli za pomocą powietrznego termometru o porcelanowym zbiorniku.

Dawniejsze doświadczenia nad gęstością par oparte były na przypuszczeniu, że pary aż do chwili skroplenia stosują się, przynajmniej z możliwem przybliżeniem, do praw Boyle'a-Mariotte'a i Gay-Lussac'a. Innemi słowy przypuszczano, że gęstość ich, czyli stosunek wag równych objętości pary i powietrza jest stały, a więc niezależny od temperatary i ciśnienia. Oznaczano tedy gęstość par przy jakiejkolwiek temperaturze i ciśnieniu, a znaleziona wartość wskazywała wiele razy dana para jest gęściejszą od powietrza przy jednakowych warunkach ciśnienia i temperatury. Gay-Lussac np. oznaczał podług swojej metody, przy temperaturze 100° i ciśnieniu mniejszem od jednej atmosfery, gęstość pary wodnej i znalazł liczbę 0,625 to znaczy $^5/_8$ powietrza. Odtąd przyjmowano wartość tę gdy obliczano wagę określonej objętości pary wodnej przy danej temperaturze i ciśnieniu.

Lecz już z dawniejszych doświadczeń Cagniard'a de la Tour'a wynika, że przypuszczenie, iż prawa Boyle'a-Mariotte'a i Gay-Lussac'a stosują się w takimsamym stopniu do par jak i do gazów, nie wytrzymuje krytyki, doświadczenia te jednak nie są o tyle dokładne, ażeby mogły pokazać w jaki sposób gęstość par zmienia się wraz ze zmianą temperatury i ciśnienia. Niektóre doświadczenia Bineau nad gęstością pary kwasu mrówkowego przy stałej temperaturze i zmiennem ciśnieniu oraz doświadczenia Cahours'a nad gęstością pary kwasu octowego przy stałem ciśnieniu i zmiennej temperaturze pokazały, że prawo Boyle'a-Mariotte'a stosuje się jedynie do pary przy ciśnieniu dalekiem od maximum prężności, prawo zaś Gay-Lussac'a do pary mającej temperaturę bardzo odległą od tej, przy której — pod danem ciśnieniem — para ta jest nasycona. Przeciwnie gęstość pary bardzo szybko wzrasta wtedy, gdy zbliżają się one do stanu nasyce-

nia, jak pokazują następujące dane, dotyczące związku pomiędzy prężnością i gęstością pary kwasu mrówkowego przy stałej temperaturze 15° C.

Prężność.	Gęstość.
2,60 milim.	2,87
7,60 „	2,93
15,80 „	3,08
20,50 maxi.num.	—

Przy stałej temperaturze 30° C:

Prężność.	Gęstość.
3,80 milim.	2,61
8,80 „	2,70
18,30 „	2,76
27,80 „	2,81
50,00 maximum.	—

Cahours posługiwał się w swoich doświadczeniach metodą Dumasa. Określał on gęstość pary kwasu octowego przy stałem ciśnieniu, równem ciśnieniu atmosferycznemu a rezultaty, jakie otrzymał, pokazują, że gęstość ta zmniejsza się wraz z podwyższeniem temperatury, z czego wynika, że rozszerzalność wspomnianej pary jest większa od rozszerzalności powietrza. Należy jednak dodać, że spółczynnik tej rozszerzalności zbliża się tembardziej do spółczynnika dla powietrza, im wyższa jest temperatura; tak np. przy 250° gęstość pary kwasu octowego osiąga stałą wartość 2,08, którą zachowuje już przy dalszem ogrzewaniu. Te same zjawiska zauważył Regnault przy badaniu gęstości pary wodnej; rezultaty przez niego znalezione również pokazują, że dopiero w blizkości temperatury, przy której para jest nasycona, gęstość jej wzrasta. Lecz gdy prężność pary przy danej temperaturze wynosi tylko 0,85 prężności maximalnej, gęstość się nie zmienia tak, że od tej chwili można do pary stosować prawo Boyle'a-Mariotte'a.

Reasumując powyższe fakty widzimy, że w ogóle gęstość par jest stała tylko wtedy, gdy są one dalekie od stanu nasycenia, w blizkości zaś jego obniżanie temperatury oraz powiększa-

nie ciśnienia powodują tak zwaną nienormalną ściśliwość par, poprzedzającą przejście ich w stan ciekły. Gęstością par nazwiemy tedy tę, jaką posiadają wtedy, gdy są dosyć odległe od punktu skroplenia, a więc gdy istotnie zachowują się jak gazy. Podobne znaczne nieprawidłowości widzieliśmy także w zachowaniu się gazów, łatwo dających się skroplić. W ogóle tedy należy przyjąć, że nie istnieje żadna ścisła różnica pomiędzy gazami i parami.

Dotychczas, mówiąc o parach, przyjmowaliśmy, że tworzą się one w przestrzeni pozbawionej powietrza, jak np. w próżni barometrycznej. Zachodzi obecnie pytanie, czy pary w przestrzeni, napełnionej gazami, mają taką samą prężność, jak w próżni. Pierwszym, który zajął się zbadaniem tego przedmiotu, był Dalton. Wprowadził on do próżni barometrycznej najprzód powietrze o znanej prężności, następnie pewną ilość cieczy i mierzył prężność powstałej przez to mieszaniny powietrza i pary. Rezultaty otrzymane doprowadziły go do wniosku, że prężność par w przestrzeni napełnionej powietrzem, jest równa prężności w próżni, czyli że *prężność mięszaniny powietrza i pary jest równa sumie prężności tych dwóch substancyj, wziętych oddzielnie przy tej samej temperaturze.* Mieszanina tedy par i gazów zachowywałaby się jak mieszanina dwóch gazów albo par dwóch nie mieszających się ze sobą cieczy. Prawo Daltona stwierdził następnie Gay-Lussac. Doświadczenia jego jednak wystarczyły do przyjęcia prawa tego tylko jako przybliżone, lecz nie były o tyle liczne i ścisłe, ażeby mogły pokazać, iż ono jest zupełnie dokładne. W celu przekonania się o tem Regnault wykonał szereg nowych doświadczeń i znalazł, że prężność par w gazach jest zawsze nieco mniejsza, aniżeli w próżni. Prężność pary wodnej w próżni była zawsze większa od jej prężności w przestrzeni, zawierającej azot, a jakkolwiek różnice okazały się bardzo małe, to jednak ciągłość ich przemawia za tem, że prężność par w próżni jest nieco większa niż w gazach. Późniejsze doświadczenia z eterem, benzyną i siarkiem węgla potwierdziły ten rezultat; różnice okazały się tem większe, im lotniejszą była użyta substancya; z eterem np. dochodziła do 36 milim. przy temperaturze 29,3°.

Regnault sądzi jednak, że jego doświadczenia nie obalają prawa Daltona; przyjmuje on, że przyczyną zmniejszenia prężności jest zgęszczanie się pary na powierzchni ścianek naczynia oraz pewna przeszkoda przy tworzeniu się pary w przestrzeni, napełnionej powietrzem. Gdy w naczyniu znajduje się ciecz, paruje ona tak długo, dopóki para nie osiągnie maximum prężności, lecz ścianki zawsze zgęszczają pewną ilość tej pary i powodują zmniejszenie prężności. W próżni zgęszczoną parę natychmiast zastępuje nowa jej ilość, powstała z cieczy, w przestrzeni zaś napełnionej powietrzem, w której tworzenie się pary jest utrudnione, zastępywanie to jest stopniowe i dlatego prężność jest tutaj w istocie mniejsza. Zmniejszenie to zaś trwa stale dlatego, że osadzona na ściankach warstwa cieczy spływa wskutek ciężkości, coraz więc nowa ilość pary zgęszcza się na nich w miarę jak prężność znów się powiększa. Wreszcie dodajmy, że dla cieczy nie bardzo lotnych, jak np. dla wody, różnica jest nader mała tak, że prężność pary wodnej w przestrzeni napełnionej powietrzem przyjmujemy jako równą prężności jej w próżni [1]).

Atmosfera ziemska, stykająca się na znacznej przestrzeni z wodą, zawiera parę wodną, ilość której jest zależna od czasu i miejsca. Para ta, przenoszona przez wiatry, powoduje takie zjawiska atmosferyczne, jak deszcz, mgłę, śnieg, badanie których wchodzi w zakres meteorologii; w tem miejscu opiszemy jedynie sposoby mierzenia ilości wilgoci w powietrzu, co stanowi cel *hygrometryi*. Powietrze jest mniej lub więcej wilgotne, zależnie od tego, czy jest mniej lub więcej zbliżone do stanu nasycenia parą wodną, a więc od tego, czy prężność jej f jest bliska lub daleka od prężności maximalnej F. Dlatego też zwykle pod *stanem wilgotności* powietrza rozumiemy stosunek $\frac{f}{F}$ prężności pary wodnej, jaką ono zawiera do prężności tej pary, jaką zawierałoby przy tej samej temperaturze, gdyby było nasyconem. Stosunek ten stanowi ułamek tem mniejszy od jedności, im suchsze jest powie-

---

[1]) Wüllner, l. c.

trze, tembardziej zaś zbliżony do jedności, im ono jest wilgotniejsze. Gdy temperatura się zmienia, to pomimo że powietrze zawiera tę samą co przedtem ilość pary wodnej, stan jego wilgotności również ulega zmianie. Albowiem gdy np. temperatura się podnosi, prężność pary wodnej, jaką zawierałoby powietrze w stanie nasycenia, wzrasta szybciej aniżeli prężność pary, w danej chwili w niem się znajdującej i wtedy stosunek dwóch tych prężności maleje.

Wiadomo, że istnieją substancye, które pochłaniają wilgoć, znajdującą się w powietrzu. Wszystkie prawie materye zwierzęce lub roślinne, będąc wysuszone, posiadają tę własność, obserwacya zaś pokazuje, że objętość ich powiększa się za każdym razem, gdy pochłaniają wodę. I tak drzewo, fiszbin, struny pęcznieją prostopadle do kierunku włókien, włosy zaś wydłużają się lub kurczą, zależnie od tego, czy znajdują się w wilgotnem lub suchem powietrzu. Wymienione ciała nie rozszerzają się w sposób widoczny pod wpływem ciepła tak, że możemy przyjąć, iż zmiany w ich objętości zależą jedynie od wilgoci powietrza; dlatego też ciała owe mogą służyć do mierzenia stanu wilgotności. Poznawszy tę własność de Saussure zbudował pierwszy *hygrometr* czyli przyrząd do mierzenia wilgoci. Najgłówniejszą część jego stanowi włos *c* (Fig. 434) długi, gładki, jedwabisty i oczyszczony z warstwy tłuszczu, pokrywającej go za życia. Jeden jego koniec jest przytwierdzony do górnej części mosiężnej podstawy, drugi zaś przerzucony jest przez blok *o* i zakończony ciężarkiem *p*; ten ostatni powinien być tak dobrany, ażeby naprężał włos, lecz go nie wydłużał. Na bloku osadzona jest strzałka, przesuwająca się wzdłuż cyferblatu; wprawiana w ruch przez ruchy samego włosa, wskazuje stan wilgotności wznosząc się do góry, gdy pada deszcz i spadając ku dołowi, gdy w powietrzu panuje susza.

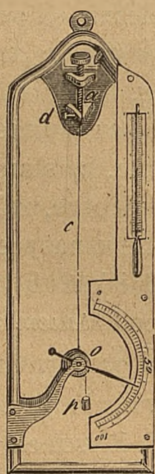


Fig. 434. Hygrometr de Saussure'a.

W celu oznaczenia stopni na hygrometrze pokrywa go się kloszem, napełnionym starannie osuszonem powietrzem; strzałka zatrzymuje się wtedy przed pewnym punktem cyferblatu, w którym stawia się *zero*, oznaczające absolutną suchość. Następnie umieszcza się klosz na talerzu z wodą, powietrze nasyca się parą wodną, włos się wydłuża i strzałka zatrzymuje się w miejscu przeciwnem, odpowiadającem krańcowej wilgotności; w miejscu tem stawia się 100^{0}. Odległość pomiędzy dwoma tak oznaczonemi punktami dzieli się na 100 równych części.

Pozostawiony w powietrzu przyrząd taki wskazuje wilgotność, lecz właściwie jej nie mierzy, innemi słowy jest to hygroskop, a nie hygrometr, albowiem bezpośrednio nie rozwiązuje on żadnego z zadań hygrometryi, gdyż nie pokazuje jaką w danej chwili jest prężność pary wodnej, ani też jaką jest jej waga w oznaczonej objętości powietrza atmosferycznego. De Saussure czuł to dobrze i dlatego rozpoczął doświadczenia nad związkiem pomiędzy stanem wilgotności i każdym oddzielnym stopniem jego empirycznej skali. Po nim badania takie podjęli Dulong, Gay-Lussac i Melloni, lecz dopiero doświadczenia Regnault'a wykazały wszystkie warunki, wpływające na hygrometr. Nie możemy tutaj wdawać się w opis jego doświadczeń, powiemy tylko, że Regnault nakreślił tablicę, która wskazuje stan wilgotności dla każdego stopnia hygrometru. Porównanie takich tablic, sporządzonych dla wielu hygrometrów z włosem pokazało, że nie są one wcale identyczne, jak przypuszczano z początku; wszelkie różnice pomiędzy użytemi włosami zmieniają odpowiednią tablicę. Wogóle przyrząd de Saussure'a jest bardzo niedokładny. Użyty w takiej formie, jaką mu nadał jego wynalazca, daje wskazówki tylko empiryczne, chcąc zaś w sposób racyonalny podzielić go na stopnie, należy dla każdego przyrządu oddzielnie wykonać szereg doświadczeń nużących i delikatnych. Wreszcie nie wiadomo, czy skala oznaczona stosuje się do każdej temperatury.

Brunner obmyślił bezpośredni sposób mierzenia wagi wody, zawartej w danej objętości powietrza. Metoda ta, zwana chemiczną, nie pozostawia nic do życzenia pod względem ścisłości;

polega ona na tem, że znaną objętość powietrza przepuszcza się przez substancyę pochłaniającą wilgoć. Substancyę tę waży się przed i po przejściu przez nią powietrza, a znaleziona różnica daje wagę *p* pochłoniętej pary wodnej. Mając tę wagę, a także objętość *V* powietrza, zawierającego ilość *p* pary wodnej oraz temperaturę *t*, oblicza się na zasadzie formuły matematycznej szukaną wartość, a mianowicie prężność *f*. Doświadczenie urządza się w sposób, przedstawiony na figurze 435. Dwa mosiężne

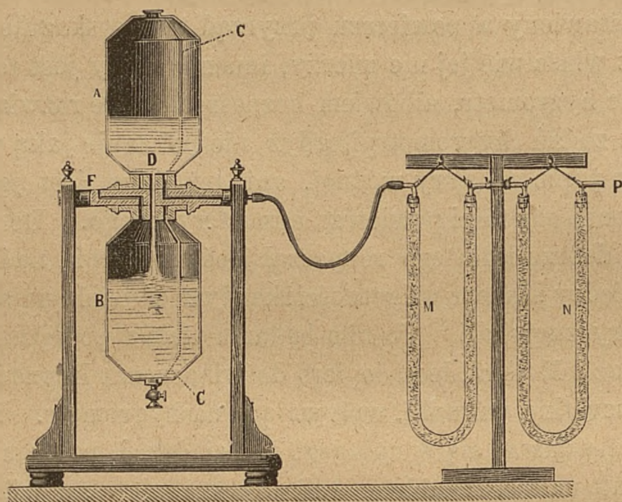


Fig. 435. Hygrometr chemiczny.

rezerwoary *A* i *B*, zupełnie jednakowe pod względem budowy i objętości, służą naprzemian do wsysania powietrza. W tym celu umieszcza się je na wspólnej poziomej osi, około której mogą się obracać, komunikują one pomiędzy sobą za pośrednictwem rurki *D*, oprócz tego dolny rezerwoar przez rurkę *C* łączy się zawsze z atmosferą, górny zaś przez rurkę kauczukową komunikuje z rurkami *M* i *N* napełnionemi substancyą pochłaniającą wilgoć. Pierwsza z nich *N* pochłania parę wodną, zawartą w wessanem powietrzu, druga zaś *M* zatrzymuje parę, która mogłaby przejść z rezerwoarów do rurki *N*.

Gdy dolny rezerwoar jest napełniony wodą, górny zaś powietrzem, odwraca się je w taki sposób, ażeby woda spływała

powoli z *A* do *B*. Wtedy w *A* nad wodą powstaje próżnia, powietrze zewnętrzne wchodzi tam przez rurki *N*, *M* pozostawiając w pierwszej parę wodną. Gdy już cała ilość wody przeszła z *A* do *B*, powietrze zaś z tego ostatniego wyszło przez rurkę *F*, odwraca się rozerwoary, przez co wypływ wody z górnego do dolnego na nowo się rozpoczyna i powietrze zewnętrzne znów ulega wessaniu przez rurkę *N*. Jeżeli np. objętość każdego rezerwoaru jest równa 10 litrom, przyrząd zaś odwracano pięć razy, to 50 litrów powietrza przeszło przez rurkę *N* i tutaj uległo osuszeniu. Ważąc tę rurkę przed i po doświadczeniu, otrzymujemy ilość pary wodnej, zawartej w 50 litrach badanego powietrza. Należy jednak dodać, że w istocie rachunek ten jest nieco bardziej skomplikowany, albowiem objętość tak obliczoną należy jeszcze sprowadzić do objętości, jaką badane powietrze zajmowało w atmosferze.

Opisana metoda hygrometryczna byłaby zupełnie zadawalniającą, gdyby nie to, że wymaga długiej i delikatnej manipulacyi, którą trudno jest rozpoczynać kilka razy w ciągu dnia. Dlatego też nie bardzo się ona nadaje do obserwacyj meteorologicznych. Starano się tedy wymyśleć przyrząd, któryby łączył dokładność metody chemicznej z wygodą hygrometru z włosem; przyrządem takim jest tak zwany psychrometr, o którym niżej wspomnimy.

Hygrometry zgęszczające są zbudowane na zasadzie zupełnie odmiennej od tych, o jakich dotychczas wspominaliśmy; zawdzięczamy ją lekarzowi z Montpellier, nazwiskiem Le Roi. Polega ona na tem, że określa się temperaturę, przy której powietrze byłoby nasycone znajdującą się w niem ilością pary wodne. Rozmaite hygrometry, oparte na tej zasadzie, różnią się pomiędzy sobą mniejszym lub większym stopniem dokładności. Jednym z najbardziej rozpowszechnionych, jakkolwiek najmniej dokładnym, jest *hygrometr Daniella* (fig. 436 str. 748). Składa się on z dwóch szklanych kulek *A* i *B*, połączonych za pomocą szerokiej, dwa razy zgiętej rurki. Kulka *A*, zwykle zrobiona z ciemnego szkła i w jednem miejscu pozłocona, jest do połowy prawie napełniona eterem; zbiornik bardzo czułego termometru,

umieszczonego wewnątrz rurki, dotyka górnych warstw tej cieczy. Przed zalutowaniem kulki *B* wypędzono starannie powietrze z całego przyrządu. Kulka *B* pokryta jest jaką delikatną tkaniną np. gazą lub batystem. Chcąc z przyrządem tym rozpocząć doświadczenie, należy go tak ustawić, ażeby przez odbicie od pozłoconej części na kulce *A* można było widzieć obraz jakiego jasnego przedmiotu, a następnie puszcza się krople eteru na kulkę *B*. Eter ten ulatnia się nader szybko, wskutek zaś utajania się przytem ciepła kulka *B* oziębia się bardzo silnie, pary eteru napełniające wnętrze przyrządu, skraplają się w niej i eter z kulki *A* poczyna dystylować ku kulce *B*. Parowanie eteru w kulce *A* również powoduje jej oziębienie i po pewnym czasie temperatura jej spada do tej, przy której powietrze staje się zupełnie nasyconem znajdującą się w niem ilością pary wodnej. Przy dalszem oziębianiu kulki *A* najmniejsze obniżenie temperatury spowoduje skroplenie pary wodnej w warstwie powietrza, otaczającej kulkę *A*; para ta pod postacią rosy osiądzie na jej powierzchni i zaciemni obraz, odbity przedtem od błyszczącego pozłoconego miejsca. W chwili gdy rosa poczyna osiadać na kulce, należy zaobserwować temperaturę, jaką wskazuje termometr w niej umieszczony, jest to temperatura, przy której powietrze staje się nasycone zawartą w niem parą wodną. Otóż mając tę daną, dowiadujemy się z tablic prężności jaką jest szukana prężność *f* pary wodnej, zawartej w badanem przez nas powietrzu.

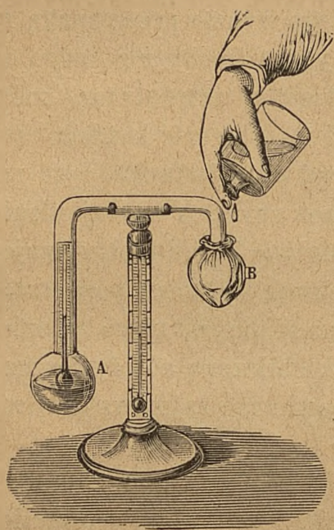


Fig. 436. Hygrometr Daniella.

Hygrometr Daniella z wielu względów nie jest dokładny. Najprzód temperatura, jaką wskazuje termometr zanurzony w górnej warstwie eteru (w kulce *A*), gdzie głównie odbywa się

parowanie, jest zawsze nieco niższa, aniżeli głębiej i na ściankach kulki dlatego, że jak zobaczymy później, ciecze słabo przewodzą ciepło. Temperatura więc przez nas zaobserwowana jest niższa od tej, przy której powietrze nasyca się parą. Oprócz tego przy oznaczaniu punktu rosy obserwator musi przez dłuższy czas znajdować się w pobliżu przyrządu, a ponieważ przy każdym wydechu wydziela on pewną ilość pary wodnej, nie ulega więc wątpliwości, że stan wilgotności powietrza, otaczającego hygrometr, zostaje przez to zmieniony. Wreszcie stan ten ulega także zmianie wskutek silnego oziębiania się kulki *B*, na której część pary wodnej się skrapla oraz w skutek wydobywania się pary wodnej z samego eteru, który nigdy nie jest zupełnie pozbawiony wody.

Regnault ulepszył ten przyrząd i nadał mu formę, w której wymienione przyczyny błędów są usunięte. W jego hygrometrze cała masa eteru posiada jednakową temperaturę z powodu przepływającego prądu powietrza; oprócz tego obserwacye robi się przy pomocy lunety, a więc na pewnej odległości od przyrządu. Jest on nadzwyczaj dokładny, lecz manipulacya z nim wymaga wielkiej delikatności, w ogóle też jest on mało rozpowszechniony. Alluard uprościł go znacznie, nie odjąwszy mu przytem nic z jego dokładności, przez co użycie tego przyrządu stało się łatwiejszem i powszechniejszem.

Inna jeszcze metoda oznaczania prężności pary wodnej w atmosferze polega na mniejszem lub większem oziębieniu, jakiemu wskutek parowania w swobodnem powietrzu ulega ciało wilgotne. Zasada ta znalazła zastosowanie we wspomnianym wyżej psychrometrze. Składa się on z dwóch termometrów *A* i *B* (fig. 437), przymocowanych równolegle do płyty miedzianej po obu stronach rurki *C*, zawierającej wodę dystylowaną. Zbiornik *B* jest otoczony muślinem, cią-

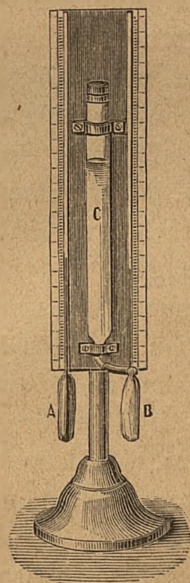


Fig. 437. Psychrometr.

gle wilgotnym, albowiem woda z rurki *C* spływa nań ustawicznie wzdłuż bawełnianego knota, łączącego muślin z dolnym otwartym końcem tej rurki.

Jeżeli otaczające powietrze nie jest nasycone parą wodną, wtedy z muślinu ulatnia się woda, przyczem pewna ilość ciepła zostaje utajona i w termometrze wilgotnym temperatura spada poniżej temperatury otoczenia. Z różnicy temperatur obu termometrów można obliczyć prężność pary wodnej, zawartej w powietrzu.

§ 7. Objaśnienie wrzenia. Stan sferoidalny.

Wiemy, że nawet przy zwykłej temperaturze powierzchnia cieczy paruje, jeżeli tylko nie znajdują się nad nią pary w stanie maximalnej prężności, a fakt ten dowodzi, że ciepło zawsze okazuje dążność do zamieniania cieczy w parę. Dążności tej przy danej temperaturze przeciwdziała spójność pomiędzy cząstkami cieczy oraz zewnętrzne ciśnienie. Rozpatrzmy najprzód wpływ tego ostatniego i przypuśćmy, że ciecz znajduje się pod ciśnieniem jednej atmosfery. Powiedzieliśmy już (patrz str. 171), że przestrzeń napełniona gazem zachowuje się względem innego gazu poniekąd jak próżna przestrzeń, ciśnienie więc powietrza na powierzchnię cieczy nie przeszkadza parowaniu w tem miejscu, albowiem pary, podobnie jak gazy, rozchodzą się w powietrzu, jak w próżni. Lecz masa cieczy jest pokryta warstwą powierzchniową jakby tłokiem, na którym spoczywa powietrze zewnętrzne. Gdyby wewnątrz cieczy również tworzyła się para, ulegałaby ona natychmiastowemu skropleniu pod wpływem tego ciśnienia i to dopóty, dopóki temperatura cieczy nie byłaby tak wysoką, że odpowiadająca jej maximalna prężność równałaby się ciśnieniu, wywieranemu na ciecz przez jej warstwę powierzchniową. Widzimy tedy, że dopóki temperatura cieczy jest tak nizka, że maximum prężności pary jest mniejsze od zewnętrznego ciśnienia, działającego na ciecz, ta ostatnia nie może wrzeć, to znaczy, że pęcherzyki pary nie mogą jeszcze wtedy wydobywać się z jej głębi. Lecz gdy temperatura cieczy staje się tak wy-

soką, że maximum prężności pary jest równe zewnętrznemu ciśnieniu, wtedy para, wytworzona wewnątrz cieczy, nie może już być skroploną pod wpływem ciśnienia, wywieranego przez warstwę powierzchniową cieczy. Najmniejszy dopływ ciepła powoduje wtedy pojawienie się pary w całej masie cieczy; para ta pod postacią pęcherzyków podnosi się do góry. Widzimy, że punkt wrzenia musi ulegać zmianie wraz ze zmianą ciśnienia, czyli że musi podnosić się, gdy ono wzrasta, spadać zaś, gdy ono słabnie.

Nie ulega wątpliwości, że przy przejściu cieczy w stan pary musi także być przezwyciężona spójność czyli siła utrzymująca jej cząstki w położeniu, odpowiadającem stanowi ciekłemu. W chwili tworzenia się pary prężność jej powinna zatem być większa od ciśnienia zewnętrznego, albowiem oprócz niego musi ona przezwyciężyć jeszcze spójność miedzycząstkową. Dlatego też temperatura cieczy, w której para się tworzy, musi być zawsze nieco wyższą od tej, przy której maximalna prężność jest równa zewnętrznemu ciśnieniu. Lecz para, powstała przy tej wyższej temperaturze, rozszerza się już wewnątrz cieczy, jeszcze bardziej zaś w chwili wyjścia na zewnątrz, gdzie wreszczie osiąga prężność, równą zewnętrznemu ciśnieniu i gdzie temperatura jej spada do tej, która odpowiada danej prężności. Jak bowiem zobaczyny później, rozszerzaniu się par towarzyszy obniżenie temperatury. Czytelnik rozumie więc obecnie dlaczego temperaturą wrzenia nazwaliśmy tę temperaturę, jaką wskazuje termometr otoczony parami wrzącej cieczy, a nie temperaturę samej cieczy; ta ostatnia, jak tego dowiódł Marcet, jest zawsze wyższa od tamtej.

Dalsze badania pokazały, że w procesie wrzenia bierze udział nietylko sama ciecz ogrzewana, lecz także powietrze, które pod postacią bardzo drobnych pęcherzyków znajduje się w każdej cieczy. Wielu badaczy przyjmuje, że cząstki cieczy wdzierają się w te pęcherzyki powietrzne, przez co te ostatnie się powiększają, wewnątrz nich powstaje para. W ten sposób rozpatrywane wrzenie staje się tylko szczególnym wypadkiem parowania. Teoryę tę podał pierwszy Deluc, ostatecznie zaś została

stwierdzoną na mocy doświadczeń Gernez'a. Figura 438 przedstawia jedno z nich. Maleńki klosz, umieszczony na końcu długiej szklanej pałeczki, zawiera pęcherzyk powietrza; jest on zanurzony w cieczy, którą stopniowo się ogrzewa. Pęcherzyk powiększa wtedy swą objętość i wreszcie całkowicie wypełnia klosz, następnie pęka, mały pęcherzyk zostaje uwolniony, za nim idzie drugi i tak dalej. Pęcherzyk powietrzny, którego pierwotna objętość była równa 1 sześć. milimetrowi, może przez dwadzieścia cztery godziny podtrzymywać wydzielanie pary i wytworzyć więcej jak 500,000 pęcherzyków, chociaż w innem miejscu naczynia, zawierającego ciecz, nie pojawia się żaden pęcherzyk. Doświadczenie to w sposób sztuczny przedstawia zjawisko wrzenia, w zwykłych zaś warunkach odbywa się ono wtedy, gdy ogrzewamy ciecz w naczyniach, których ścianki nie są absolutnie pozbawione gazu. Jak powiedzieliśmy już na początku paragrafu, traktującego o wrzeniu, pęcherzyki pary pojawiają się w pewnych miejscach, powiększają się i wznoszą do góry w masie cieczy, podobnie jak podczas sztucznego wrzenia. Każdy punkt naczynia, w którym znajdował się pęcherzyk powietrzny, stanowi wtedy ośrodek parowania zupełnie podobny do klosza w doświadczeniu Gernez'a. A oto jeszcze inne doświadczenie tego badacza, które dowodzi, że obecność pęcherzyka powietrznego przy wrzeniu jest konieczna. Za pomocą małego pochylonego klosza, starannie oczyszczonego z powietrza (fig. 439), chwytał on pęcherzyk pary w biegu. Pęcherzyk ten zajmował górną część klosza i stawał się natychmiast ośrodkiem parowania i punktem wyjścia nieskończonej ilości nowych pęcherzyków. Gdy przestano ogrzewać wrzenie ró-

Fig. 438. Doświadczenie Gernez'a.



Fig. 439. Inne doświadczenie Gernez'a.

wnież ustawało i wtedy można było skonstatować obecność w kloszu bardzo małego pęcherzyka powietrza.

Z tego, cośmy tutaj powiedzieli, wynika, że ciecz zupełnie pozbawiona pęcherzyków powietrznych nie będzie wrzała przy temperaturze, uważanej za normalną. W istocie widzieliśmy wyżej, że oprócz ciśnienia, inne jeszcze warunki wpływają na temperaturę wrzenia; wiemy np., że podczas gdy wogóle woda wrze przy 100° w naczyniu metalowem, nie wrze ona nigdy przy tej temperaturze w naczyniu szklanem. Również i wszystkie doświadczenia Marcet'a (patrz str. 711) pokazują, że natura naczynia ma istotny wpływ na temperaturę wrzenia. Otóż obecnie wpływ ten objaśniamy nie rozmaitem przyleganiem cieczy do ścian naczynia, lecz rozmaitem przyleganiem powietrza do różnych ciał stałych. Z odnośnych doświadczeń na szczególną uwagę zasługują klasyczne doświadczenia Donny'a i Dufoura. Donny wprowadzał wodę do szklanej, wygiętej rurki, zakończonej kulkami *B* (fig. 440) i wewnątrz bardzo starannie oczyszczo-

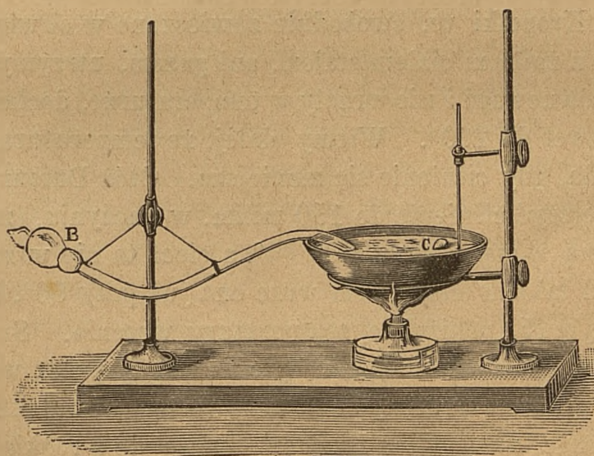


Fig. 440. Doświadczenie Donny'a.

nej za pomocą kwasu siarczanego. Następnie gotował wodę przez długi przeciąg czasu, pozbawiając ją w ten sposób powietrza, które wychodziło na zewnątrz i wreszcie zalutował koniec rurki *B*. Gdy potem ogrzewał drugi jej koniec w kąpieli glice-

rynowej, temperatura jej mogła być podniesiona blisko do 137° i pomimo to woda nie wrzała, lecz tylko silnie parowała. Dopiero przy 137° słup cieczy nagle wybuchał i część jej wpadała do kulek *B*; wybuch taki powodował niekiedy pęknięcie rurki. Albowiem jeżeli ciecz przegrzana, to jest doprowadzona do temperatury wyższej od normalnej temperatury wrzenia, poczyna wreszcie wrzeć, wtedy wywiązuje nagle znaczną ilość pary. Zjawisko to pokazuje, że w naczyniu szklanem, dobrze oczyszczonem, pęcherzyki pary, powodujące wrzenie, tworzą się dopiero przy bardzo wysokiej temperaturze. Deluc'owi udało się przegrzać wodę, umieszczoną wewnątrz oliwy, do temperatury 140° i woda ta nie wrzała. Dufour wykonał podobne doświadczenie, lecz w sposób o wiele dokładniejszy. Ogrzewał on jednostajnie do 120° mieszaninę z oleju lnianego i olejku goździkowego, wziętych w takim stosunku, że średnia gęstość była równa gęstości wody przy 100° i następnie wpuszczał do mieszaniny kroplę wody. Ta ostatnia jako chłodniejsza, a więc cięższa, spadała na dno, gdzie dzieliła się na mniejsze kropelki, które po ogrzaniu wznosiły się do góry. Kropelki te, swobodnie zawieszone w oliwie, nie stykające się z żadnem ciałem stałem, ani gazem, utrzymywały się w stanie równowagi i nie wrzały w temperaturze, dochodzącej do 178°, a nawet do 200°. Wiemy dalej, że temperatura wrzenia cieczy spada, gdy ciśnienie się zmniejsza. Otóż Dufour'owi udało się zmniejszyć ciśnienie do 150 milim. w naczyniu, zawierającem kwaśną wodę, ogrzaną do 75°, a ciecz ta nie wrzała. Ponieważ pod takiem ciśnieniem wrze ona już przy 60°, była więc przegrzaną o 15° poniżej tej temperatury wrzenia. Szczególnie ciekawem w tem doświadczeniu było to, że gdy przez wodę przepuszczano prąd elektryczny, wskutek czego wewnątrz niej pojawiły się nagle gazy (tlen i wodór), powstałe z rozkładu wody, poczynała ona natychmiast silnie wrzeć. W ogóle gdy ciecz jest przegrzana, należy tylko wprowadzić do niej jakiś gaz pod jakąbądź postacią, a pocznie ona zaraz gwałtownie wrzeć. Gaz ten odgrywa tutaj rolę impulsu, podobnie jak mała cząstka substancyi stałej powoduje skrzepnienie ciała jeszcze ciekłego przy temperaturze niższej od jego temperatury krzepnienia. Za pomocą

małego klosza Gernez wprowadził nadzwyczaj drobny pęcherzyk powietrzny do wnętrza cieczy przegrzanej; śledząc oczyma pęcherzyk, który wydobył się z klosza, eksperymentator widział, jak w miarę wznoszenia powiększał się on ogromnie tak, że zanim dotarł do swobodnej powierzchni, posiadał objętość 8,000 razy większą od pierwotnej objętości. Wreszcie można także spowodować wrzenie cieczy przegrzanej, wprowadzając do niej jakieś ciało stałe, nie oczyszczczone z powietrza, jak np. druciki platynowe, opiłki metalowe. Ciała te działają przez to, że wraz z niemi dostaje się do cieczy powietrze niezbędne podczas wrzenia. Według Gernez'a tracą one tę własność po kilkakrotnem wygotowaniu ich w wodzie. Wykonał on pod tym względem bardzo wiele doświadczeń najrozmaiciej urządzanych i usunął wszelkie wątpliwości. W ten sposób obalił on zupełnie dawniejszą teoryę, według której ciała stałe, wprowadzone do cieczy, działają same przez się (patrz str. 712).

Ażeby wrzenie się odbywało, w cieczy powinno znajdować się powietrze *swobodne*, to jest nierozpuszczone. Można np. przegrzać wodę, zawierającą w rozpuszczeniu powietrze, a nie będzie ona wrzała; dopiero gdy roztwór przesycony wydziela gaz, ten ostatni, jako swobodny, powoduje wrzenie. Działanie mechaniczne może również wywołać wrzenie cieczy, jeżeli pod jego wpływem wydzielają się gazy z przesyconego roztworu. Gernez pocierał szklaną pałeczką wnętrze małego klosza, umieszczonego w głębi cieczy, przez co powodował wydzielanie gazu i natychmiastowe wrzenie.

Najciekawszy jednak jest wpływ, jaki na wrzenie cieczy wywiera rozżarzenie ścian naczynia, w którem się ciecz znajduje. Gdy ogrzejemy np. tygielek metalowy do bardzo wysokiej temperatury i następnie wpuścimy doń kilka kropel wody, nie będą one wcale wrzały, lecz połączą się w jedną dużą kroplę kulistą lub spłaszczoną, zależnie od mniejszej lub większej ilości wody. Wygląd i kształt tej wody przypominają krople rtęci lub w ogóle cieczy, umieszczonych w naczyniach, nie zwilżanych przez nie. Wszystkie znane substancye zachowują się podobnie jak woda, niezależnie od stopnia lotności. Ciekły kwas siarkawy

lub węglany nie wrą w tygielku ogrzanym do białej czerwoności. W każdym jednak razie odbywa się wtedy parowanie, o czem przekonywamy się z tego, że w wymienionych warunkach kwasy siarczany i azotny dają białe dymy, jod daje dym fioletowy i że w ogóle kropla cieczy kulista lub spłaszczona zmniejsza się stopniowo i wreszcie znika.

Boutigny, któremu nauka zawdzięcza bardzo liczne poszukiwania nad tym przedmiotem, sądził, że mamy tutaj do czynienia z jakimś osobliwym stanem materyi czyli *stanem sferoidalnym*. Zanurzał on bardzo mały termometr w cieczy, zawartej w tygielku i skonstatował ten nader ciekawy fakt, że ciecze w warunkach, o jakich mowa, posiadają zawsze temperaturę niższą od ich temperatury wrzenia. W kilkadziesiąt lat później Berger otrzymał kulki wody bardzo wielkie; termometr zanurzony w ich wnętrzu wskazywał 96° do 98° w głębi i około 90° na powierzchni kulki. Ciekły kwas siarkawy, wprowadzony do rozżarzonego tygielka platynowego, przechodzi w stan sferoidalny, przy którym temperatura jego jest niższa od temperatury wrzenia, to jest od — 10°. Jeżeli wtedy puścimy nań wodę, takowa zmarznie i będziemy mieli lód w rozżarzonym tyglu platynowym. Faraday użył zamiast kwasu siarkawego stałego kwasu węglanego, zamiast zaś wody wziął rtęć i udało mu się zamrozić ten metal.

We wszystkich tych doświadczeniach ciecz nie styka się z rozżarzoną ścianką, lecz jest od niej oddzielona przez warstwę pary, która bardzo słabo przewodzi ciepło i ochrania ciecz od żaru. Ciepło, które przechodzi, wystarcza jedynie do podtrzymania bardzo umiarkowanego parowania. Pary te wydzielają się przez dolną powierzchnię kulki, pędzą ją i poruszają we wszystkich kierunkach. Poggendorf bezpośrednio skonstatował odległość, dzielącą ciecz od rozżarzonego naczynia, za pomocą następującego doświadczenia. Jeden drut od stosu galwanicznego połączył ze środkiem cieczy, znajdującej się w stanie sferoidalnym (ciecz ta była dobrym przewodnikiem elektryczności), drugi zaś drut dochodził do ścianki naczynia rozżarzonego. Okazało się, że w tych warunkach prąd elektryczny nie przechodził przez war-

stwę pary, będącej złym przewodnikiem, o czem można było przekonać się umieściwszy na drodze prądu galwanometr, w którym zboczenie igielki magnesowej ustało [1]). Prąd przechodził dopiero po oziębieniu naczynia do takiej temperatury, przy której ciecz bezpośrednio z niem się stykala.

Możemy także przekonać się, że w stanie sferoidalnym niema zetknięcia pomiędzy cieczą, a ciałem rozżarzonem, puszczając na poziomo umieszczoną płytę metalową, ogrzaną do czerwoności, nieco wody i patrząc na płomień świecy, stojącej w pewnej odległości na przedłużeniu płyty (fig. 441). Widzimy wtedy wyra-

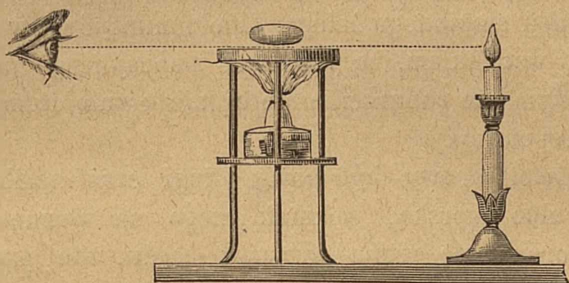


Fig. 441. Doświadczenie z cieczą w stanie sferoidalnym.

źnie płomień pomiędzy kulką wody i płytą. Wreszcie można pod pewnym względem odwrócić powyższe doświadczenia w sposób, wskazany przez Boutigny'ego. Ogrzawszy do czerwoności kawałek miedzi, zawieszony na drucie metalowym, zanurza go się nagle w naczyniu szklanem, zawierającem wodę przy 99° blizko. Niema wtedy wrzenia i widać wyraźnie powłokę gazową pomiędzy metalem a cieczą; trwa to tak długo, dopóki miedź nie oziębi się do 140° i w chwili gdy dochodzi do tego punktu, styka się z cieczą i wrzenie rozpoczyna się z wybuchem tak gwałtownym, że często szklane naczynie pęka.

W końcu należy objaśnić, dlaczego ciecze nie zwilżają rozżarzonych ścian. Otóż mamy tutaj do czynienia ze zjawiskiem włoskowatości. Wolf pokazał, że gdy temperatura stopniowo

---

[1]) Jak zobaczymy w księdze o elektryczności, wielkość i kierunek zboczenia igielki magnesowej w galwanometrze daje miarę siły i kierunku prądu elektrycznego.

wzrasta, podnoszenie się wody w rurkach włoskowatych słabnie, z czego wynika, że powinno ono wreszcie ustać i zamienić się w depressyę. Menisk z początku wklęsły, staje się następnie wypukłym, jak w wypadku z rtęcią i ciecze przestają zwilżać naczynia, gdy te są dostatecznie rozgrzane.

Mamy więc obecnie klucz do zrozumienia powyższych zjawisk i czytelnik z łatwością objaśni sobie kilka następujących doświadczeń.

Po zwilżeniu ręki eterem możemy ją zanurzyć w roztopionym ołowiu, a doznamy jedynie wrażenia zimna. Możemy nawet bez narażenia się na niebezpieczeństwo przeprowadzić palec przez strumień stopionego żelaza, albo zanurzyć go w stopionem srebrze, pod warunkiem, że przedtem zmoczyliśmy palec kwasem siarkawym i że zanurzenie nie będzie trwało dłużej, niż wyparowanie tej cieczy.

Gdy kocioł parowy był przez długi czas zasilany wodą zwyczajną albo morską, wskutek czego na wewnętrznej jego ścianie utworzyła się gruba warstwa osadu, źle przewodząca ciepło, wtedy ściany metalowe muszą być ogrzane prawie do czerwoności, ażeby para mogła się wytwarzać. Jeżeli w którem miejscu osad odpada i woda znajduje się w zetknięciu z przegrzanym metalem, wtedy zachodzą zjawiska, o których mówiliśmy wyżej i ilość wytwarzanej pary się zmniejsza. W wypadku takim niebezpieczeństwo eksplozyi jest nader blizkie, albowiem gdy kocioł oziębi się do 140°, wrzenie nagle się rozpocznie i to z taką gwałtownością, że klapy bezpieczeństwa okażą się niewystarczającemi [1]).

§ 8. Zastosowania praktyczne.

Chcąc oczyścić ciecz z obcych substancyj, rozpuszczonych w niej, albo też chcąc oddzielić dwie ciecze, zmieszane ze sobą, uciekamy się zwykle do sposobu, zwanego *dystylacyą* i w zasadzie polegającego na tem, że przez ogrzanie zamieniamy ciecz w parę,

---

[1]) Jamin, Cours de Physique Tom II.

którą następnie zbieramy w chłodniejszem naczyniu, gdzie ulega skropleniu. Gdy ciecz zawiera np. sole rozpuszczone, jak to ma miejsce ze wszystkiemi prawie wodami, znajdującemi się w naturze, wtedy, jak wiemy, jedynie woda ulatnia się, stałe zaś substancye pozostają na dnie naczynia. Jeżeli mamy mieszaninę kilku cieczy, możemy za pomocą gotowania oddzielić je całkowicie lub przynajmniej częściowo, a to na mocy faktu, że różne ciecze poczynają wrzeć przy rozmaitej temperaturze, wskutek czego jedna ciecz wcześniej zamienia się w parę, aniżeli druga.

Proces dystylacyi jest znany już od dość dawnego czasu, a pomimo że same przyrządy zostały później znacznie ulepszone, zawsze jednak polega on na zastosowaniu jednych i tych samych praw fizycznych. W prostej formie przyrząd taki składa się z kotła *a* (fig. 442), na którym osadzona jest retorta *bc*;

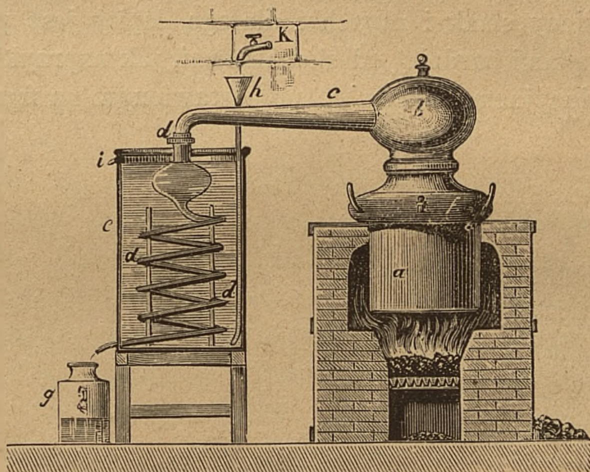


Fig. 442. Dystylator.

ta ostatnia otwiera się przy *d* do skręconej rury czyli wężownicy, zawartej w naczyniu *e*, które napełnione jest zimną wodą i stanowi tak zwany oziębiacz. Ciecz, mającą uledz dystylacyi, wprowadzamy do kotła, który ogrzewamy; para wydobywająca się z retorty skrapla się w wężownicy i spływa następnie do podstawionego naczynia *g*. Ponieważ, jak zobaczymy w następnym paragrafie, pary skraplając się oddają znaczne ilości ciepła,

to woda w oziębiaczu wkrótce ogrzewa się tak silnie, że nie może już powodować dalszego skroplenia pary; dlatego też ogrzaną wodę usuwa się przez boczną rurkę *i*, na jej miejsce zaś wprowadza świeżą zimną wodę, spływającą przez kran *k* i lejek *h* do oziębiacza. W tak prosty sposób urządzone są przyrządy, służące do dystylowania wody; przyrządy zaś, za pomocą których starano się wodę morską uczynić zdatną do picia, nie różnią się w zasadzie od nich. Nieco bardziej złożone są natomiast aparaty, służące do oddzielania cieczy o rozmaitej lotności, a więc szczególniej przyrządy do otrzymywania alkoholu. Gdy chodzi np. o wydobycie alkoholu z zacieru, przygotowanego ze zboża, wtedy używa się przyrządów bardziej skomplikowanych. Wprawdzie można także za pomocą zwyczajnego dystylatora oczyścić do pewnego stopnia daną ciecz, jeżeli dystylacyę powtarza się kilkakrotnie, lecz ciecz, ewentualnie alkohol, posiada wtedy przypalony smak i zapach i dlatego lepiej jest posługiwać się przyrządami bardziej udoskonalonemi, jak naprzykład aparatem dystylacyjnem Laugier'a, przedstawionym na figurze 443.

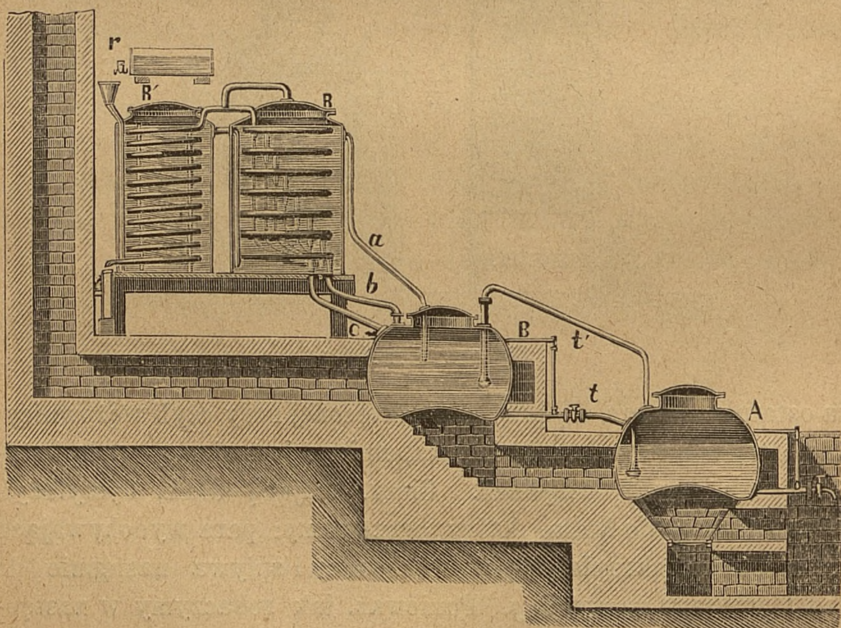


Fig. 443. Aparat dystylacyjny Laugier'a.

Widzimy tutaj kocioł parowy *A*, ogrzewany bezpośrednio przez ognisko, następnie drugi kocioł *B*, ogrzewany przez gazy, które wznoszą się od ogniska tak, że ich ciepło również zostaje spożytkowane. Dalej widzimy dwa oziębiacze *R* i *R'*, zawierające wężownice, w których pary, wydobywające się z dystylowanej cieczy, ulegają skropleniu. Cieczą tą są napełnione wszystkie części przyrządu, to jest kotły, zarówno jak i oziębiacze; wprowadza się ją mianowicie najprzód do oziębiacza *R'*, zkąd przez rurkę przepływa do *R*; z tego ostatniego przez rurkę *a* dostaje się do kotła *B* i wreszcie przez rurkę *t* do kotła A. Para zaś, która tworzy się w kotle *A*, przebywa drogę wprost przeciwną i przez rurkę *t'* wchodzi do kotła *B*, zkąd przez rurkę *b* dostaje się do wężownicy, gdzie ulega po części skropleniu. Ciecz, powstała ze skroplenia, powraca przez rurkę *c*, która łączy pomiędzy sobą wszystkie skręty wężownicy, do kotła *B*, podczas gdy para nieskroplona wchodzi do wężownicy w *R'*, gdzie wreszcie zostaje skroplona i ostatecznie wypływa z niej jako alkohol. W podobny sposób urządzane są wszystkie przyrządy, służące do dystylacyi alkoholu.

Inną własność cieczy, a mianowicie jej zdolność ulatniania się przy zwykłej temperaturze, również spożytkowano w celach praktycznych Jak wiadomo, znaczna ilość soli, używanej do pokarmów, głównie zaś w przemyśle, pochodzi z wody morskiej, w której stanowi ona około 40 lub 37 część całej masy. Otrzymuje się ją w ten sposób, że zawierającą ją wodę wprowadza się do obszernych niegłębokich naczyń, ustawionych na wolnem powietrzu; woda zwolna wtedy paruje, roztwór staje się coraz bardziej stężonym i wreszcie sól osiada w głębi naczyń pod postacią kryształów, albo też jako cienka stała warstwa pokrywa dno zagłębień. Sól w ten sposób otrzymaną układa się warstwami i wystawia przez pewien przeciąg czasu na działanie powietrza, a to w celu ostatecznego oczyszczenia jej z niektórych przymieszek; sól taka znana jest w handlu jako sól morska.

Oprócz tego sól otrzymuje się także z wody źródlanej, zawierającej sole. Ponieważ ilość tych ostatnich jest tutaj zwykle niewielka, to z początku wyparowywa się częściowo wodę na wolnem powietrzu i następnie nieco bardziej stężony roztwór wpro-

wadza do naczyń, gdzie ogrzewa go się tak długo, dopóki sól nie osiądzie pod postacią prawidłowych kryształów. Wyparowywanie słonych wód odbywa się zwykle w sposób następujący: pomiędzy belkami rusztowania, ustawionego ponad zbiornikiem, w którem woda ma się zebrać, układa się wielkie masy chrustu (fig. 444), na które przez boczne rury *a* spływa woda z dwóch

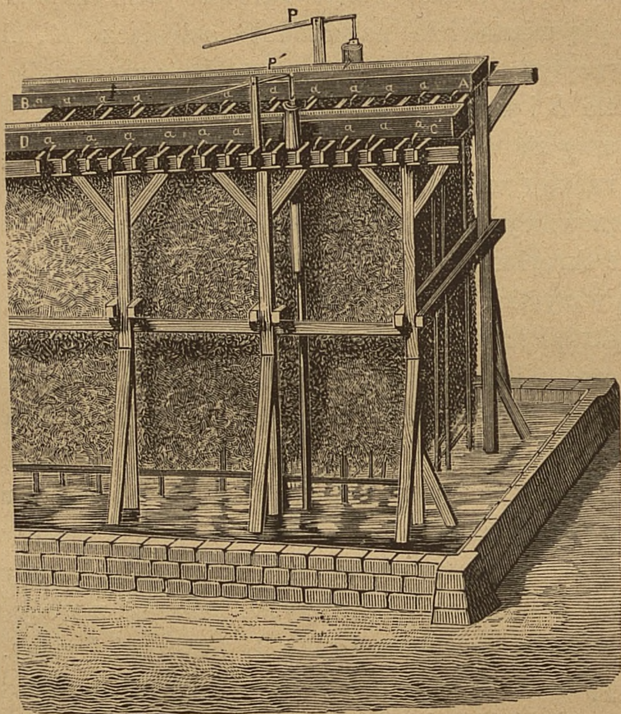


Fig. 444. Tężnia.

długich koryt *AB* i *CD*. Budowle takie, zwane *tężniami*, które można widzieć w blizkości każdej warzelni soli, np. u nas w Ciechocinku, są tak urządzone, że kierunek ich długości jest prostopadły do kierunku, w którym zwykle wieje wiatr tak, że może on swobodnie przewiewać przez wiązki chrustu. Rzecz oczywista bowiem, że wiatr, przynosząc coraz to nowe warstwy powietrz i unosząc te, które są już napełnione parami, sprzyja parowaniu wody na tężni. Podczas gdy woda spływa z jednej gałęzi na drugą, ulega ona dosyć szybkiemu ulatnianiu tak, że wo-

da, która raz jeden przeszła przez chrust, zawiera większą procentową ilość soli, aniżeli woda ze źródła. Pompy P i P' sprowadzają wodę, która spłynęła na dół, po raz drugi i trzeci do koryt AB i CD, zkąd znów dostaje się na powierzchnię chrustu; dopóki nie osiągnie żądanego stopnia stężenia.

W poprzednim wypadku wyparowywanie wody miało na celu otrzymanie w stanie suchym substancyj, w niej rozpuszczonych. Lecz ulatnianiu wody towarzyszy inne jeszcze zjawisko, które również zostało spożytkowane w celach praktycznych. Jak wiemy, woda zamieniając się w parę, potrzebuje do tego ciepła; gdy otrzymuje je od ciał, z któremi się styka, wtedy ciała te oziębiają się. Otóż z tego właśnie korzystają w południowych krajach, szczególniej w Hiszpanii. Mieszkańcy jej używają naczyń ze słabo wypalonej gliny, zwanych alkarazas, w których trzymają wodę, przeznaczoną do picia. Woda ta przesiąka przez pory ścianek i paruje na zewnętrznej ich powierzchni, odejmując przytem ciepło samemu naczyniu, wskutek czego woda w niem zawarta utrzymuje się stale przy dość nizkiej temperaturze. Ponieważ parowanie odbywa się tem szybciej, im wyższa jest otaczająca temperatura oraz im suchsze jest powietrze, to działanie naczynia okazuje się najbardziej skutecznem wtedy, gdy jest najwięcej pożądane. Naczynia takie mogą być przez dłuższy czas używane, pod warunkiem, że woda nie zawiera wiele wapna, w przeciwnym bowiem razie pory w ściankach wkrótce się zatykają i naczynie przestaje odpowiadać swemu celowi. W gorących krajach, gdzie temperatura nigdy nie spada tak nizko, ażeby wody pokryły się warstwą lodu, starają się w inny jeszcze sposób spożytkować fakt oziębiania się ciał wskutek parowania, a mianowicie przygotowują tak cenny w owych okolicach lód. W jaki sposób osiągają to np. w Bengalu, możemy się dowiedzieć z następującego ustępu, wyjętego z dzieła Tyndalla o cieple: „Wells pierwszy objaśnił sposób sztucznego wytwarzania lodu w Bengalu, gdzie substancya ta nigdy nie powstaje w sposób naturalny. W niegłębokich dołach, po części napełnionych słomą, ustawia się płytkie naczynia z wodą; pod jasnem niebem z wody silnie promieniuje ciepło i znaczna jego ilość uchodzi w prze-

strzeń. Ciepła, tak utraconego, ziemia nie może wodzie przywrócić, z powodu znajdującej się pomiędzy niemi słomy, która nie przewodzi ciepła. Przed wschodem słońca tworzy się w każdem naczyniu bryła lodu. Takie jest objaśnienie Wells'a, bezwątpienia słuszne, lecz według mojego zdania wymaga ono jeszcze pewnego uzupełnienia. Z opisu jego możnaby sądzić, że najkonieczniejszym warunkiem powstawania lodu jest nietylko jasne, ale także i suche powietrze. Sir Robert Barker powiada, że noce najjaśniejsze oraz takie, podczas których po północy pada najmniej rosy, najbardziej sprzyjają tworzeniu się lodu. Zwróciłem szczególną uwagę na ostatnie, bardzo ważne zdanie. Ażeby lód tworzył się w obfitości, atmosfera powinna być nietylko jasna, lecz także względnie pozbawiona pary wodnej. Gdy tylko słoma, na której znajdowały się naczynia, stawała się wilgotną, zastępowano ją zaraz słomą suchą. Wells powiada, że musiano tak postępować dlatego, iż słoma wilgotna jest bardziej zbita i lepiej przewodzi ciepło. Może to jest słuszne, oprócz tego jednak jest rzeczą pewną, że para, wydobywająca się z wilgotnej słomy i rozpościerająca się nakształt parasola powyżej naczyń, powstrzymywała oziębienie i tem samem opóźniała powstawanie lodu.“

Wiele okoliczności wpłynęło na to, że starano się udoskonalić metodę sztucznego przygotowywania lodu, którą od dawna posługiwano się przy pomocy pompy powietrznej. Metoda polega na tem, że wywołujemy silne obniżenie temperatury przez szybkie ulatnianie bardzo lotnych ciał. Zasada ta znalazła zastosowanie w przyrządach, w których odrazu można przygotować znaczną ilość lodu, a mianowicie w maszynie do wytwarzania lodu. W małej maszynie lodowej Carré (fig. 445, str. 765), najczęściej używanej wtedy, gdy chodzi o otrzymanie lodu w małych ilościach, widzimy stojący w piecu walcowaty kocioł parowy *T*, połączony za pomocą rur z naczyniem *R*, którego zewnętrzna powierzchnia posiada kształt ściętego stożka. Naczynie to jest umieszczone w zimnej wodzie. Wnętrze jego zajmuje dokładnie przystosowany cylinder blaszany *S*, który widzimy po prawej stronie rysunku. Gdy przyrząd ma być użyty po raz pierwszy, napeł-

nia się kocioł wodą, nasyconą gazem amoniakiem, odmyka boczną klapkę, prowadzącą do rury, która otwiera się pod wodą i ogrzewa z początku słabo. Wskutek ogrzewania amoniak gazowy wydobywa się z wody i wypycha powietrze z rury. Gdy już całe powietrze zostało wydalone—co poznaje się potem, że z rury przestają wydobywać się pęcherzyki oraz, że woda do której rura ta dochodzi, otrzymuje wyraźny amoniakalny zapach—zamyka się klapkę, której nie potrzeba już nigdy więcej otwierać, chyba, że z czasem do przyrządu znów dostanie się nieco powietrza. Następnie ogrzewa się silniej, przez co amoniakalne pary wydobywają się obficiej i przenikają do naczynia *R*, gdzie ulegają oziębieniu. Obniżenie temperatury oraz ciśnienie przybywających w dalszym ciągu par powodują skroplenie ich w naczyniu *R*. Gdy temperatura w kotle parowym dochodzi do 130°, wtedy do wspomnianego naczynia wstawia się ów blaszany cylinder *S*, napełniony wodą, która ma być zamieniona w lód, podnosi się cały przyrząd i umieszcza kocioł w zimnej wodzie, naczynie zaś *R* otacza ciałami słabo przewodzącemi ciepło. Gdy potem woda w kotle znów się ochładza, wsysa ona napowrót pary amoniakalne, ciśnienie ich staje się słabszem, wskutek czego amoniak, skroplony poprzednio w naczyniu *R*, znów poczyna ulatniać się. Amoniak pochłania wtedy znaczną ilość ciepła, które odejmuje wodzie, zawartej w cylindrze *S* i woda ta zamienia się w lód; po wyjęciu cylindra zwykle znajdujemy w nim tę substancyę w stanie bardzo czystym. W opisanym małym przyrządzie ulotnienie cieczy, wymaga zwykle 25 minut, zamiana w lód trwa minut 30; gdy cały proces jest ukończony, można go natychmiast rozpocząć na nowo.

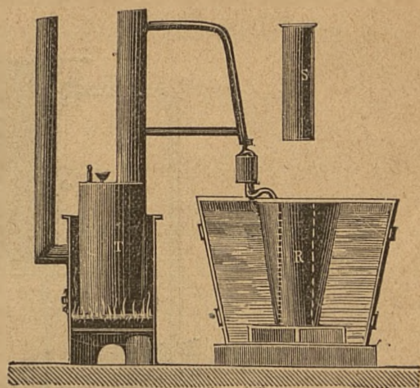


Fig. 445. Mała maszyna Carré do robienia lodu.

Do przygotowywania lodu na wielką skalę służą przyrządy, zbudowane również przez Carré'a; jedną z takich wielkich ma-

szyn lodowych przedstawia figura 446. Widzimy tutaj kocioł parowy *A*, w którym ogrzewa się roztwór amoniakalny; wydobywająca się zeń para przechodzi za pośrednictwem rurki do

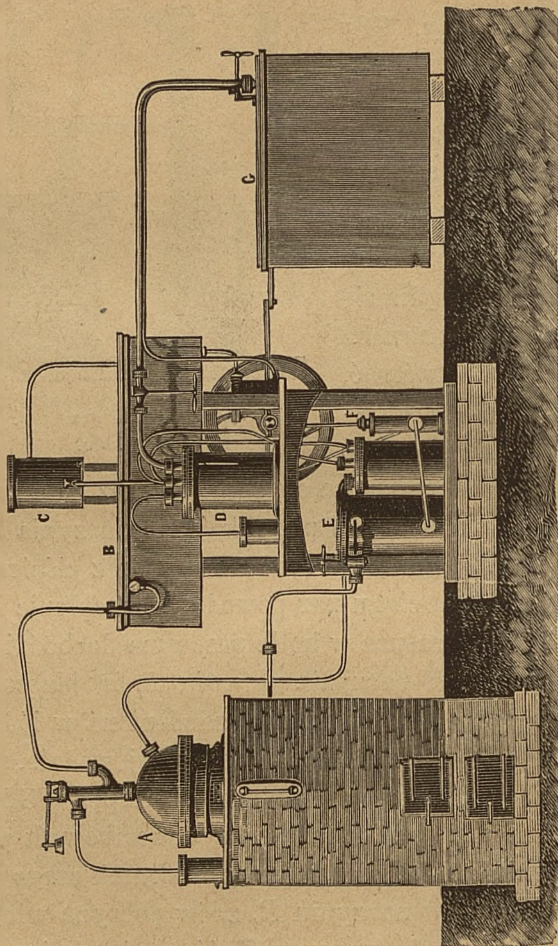


Fig. 446. Wielka maszyna lodowa Carré'a.

rezerwoaru *B*, gdzie oziębia się i ulega skropleniu, albowiem na rozerwoar ten ustawicznie spada z *C* strumień zimnej wody. Ciecz powstała ze skroplenia wypełnia następnie przestrzenie, znajdujące się pomiędzy podwójnemi ścianami naczynia *G*, zawierającego wodę, która ma być w lód zamienioną. Gdy woda w kotle *A* nie zawiera już wcale amoniaku, pozwalamy jej spłynąć do naczynia *E*, połączonego z cylindrem *D* oraz z oziębia-

czem; w miarę jak woda w E oziębia się, pochłania ona znów amoniak tak, że cała ilość cieczy, skroplona poprzednio pomiędzy ścianami naczynia G, znów się ulatnia i powoduje zmarznięcie wody w tem naczyniu. Gdy proces został ukończony, woda nasycona amoniakiem, zostaje przeprowadzona za pomocą pompy F z naczynia E do kotła parowego.

§ 9. Skroplenie gazów.

Widzieliśmy wyżej, że im bardziej para jest oddalona od stanu nasycenia, tem więcej własności jej zbliżają się do własności gazu doskonałego. Rezultat ten osiągamy bądź ogrzewając parę pod stałem ciśnieniem, bądź zmniejszając jej ciśnienie przy stałej temperaturze. Nasuwa się w tem miejscu pytanie, co staje się z gazem, gdy poddajemy go działaniu wprost przeciwnemu, to jest gdy go coraz bardziej oziębiamy i ściskamy. Otóż w miarę jak wynajdywano nowe sposoby obniżania temperatury oraz wymyślano potężne przyrządy do ściskania gazów, można było doprowadzić większą ich część do stanu pary nasyconej, a więc zamienić je w ciecze, własności których nie różnią się zasadniczo od własności cieczy, znanych dotychczas. Po klasycznych doświadczeniach Faraday'a, liczba gazów, uważanych za niedające się skroplić, redukowała się do sześciu, lecz i one musiały uledz wobec potęgi nowych środków działania. Nawet wodór, stawiający największy opór, został najprzód przez Cailletet'a doprowadzony do stanu zgęszczenia, który charakteryzuje się przez pojawienie w jego masie lekkiego obłoczku, niedawno zaś Wróblewski i Olszewski otrzymali gaz ten pod postacią kropel cieczy, pływających po powierzchni szkła. Warunki temperatury i ciśnienia, wymieniane dziś jako konieczne do skroplenia danego gazu, okażą się, być może, z czasem nieco odmiennymi, wskutek dalszych poszukiwań, lecz ogólne rezultaty, osiągnięte w kwestyi nas zajmującej, nie podlegają obecnie żadnej wątpliwości. Znaczenie ich jest nader wielkie i dlatego zatrzymamy się nad niemi nieco dłużej.

Skroplić gaz możemy przez oziębienie albo przez ściskanie, lub też wreszcie przez jednoczesne działanie obu tych czynników.

Samo oziębienie wystarcza do skroplenia takich gazów, jak kwas siarkawy, cyan, a nawet amoniak. Figura 447 przedstawia odnośny przyrząd w chwili, gdy skrapla się w nim pierwszy z wy-

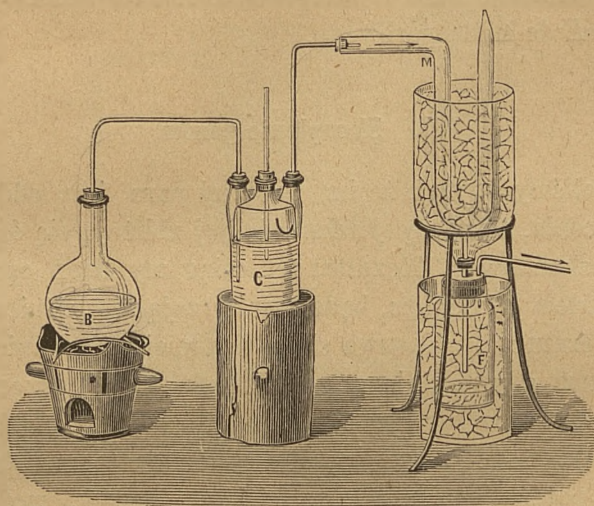


Fig. 447. Przyrząd do skroplenia gazu przez oziębienie.

mienionych gazów. Gaz ten tworzy się w balonie *B*, zkąd przez rurkę dostaje się do flaszki *C*, w której oswobadza się od wody, następnie przechodzi on do rurki, mającej kształt litery *U* i otoczonej mieszaniną oziębiającą. Tutaj gaz się skrapla i spływa do butelki *F*, również otoczonej mieszaniną oziębiającą. Ponieważ ciekły kwas siarkawy poczyna wrzeć przy — 10^{0}, to chcąc go zachować, należy hermetycznie zamknąć naczynie, w którem jest zawarty, albo lepiej zalutować je. Ciecz powstała przez oziębienie gazu może następnie pozostać jako taka i przy zwykłej temperaturze, jeżeli szkło naczynia jest o tyle grube, że może wytrzymać ciśnienie ciała, które stara się powrócić do pierwotnego stanu.

Najczęściej skrapla się gazy przez powiększenie ciśnienia, istnieje też ogólna do tego metoda, przy której nie potrzeba uciekać się do żadnych środków mechanicznych. Metoda ta polega na wprowadzaniu do bardzo mocnych naczyń pewnych chemicznych

Дозволено Цензурою, Варшава 21 Апрѣля 1889 г.

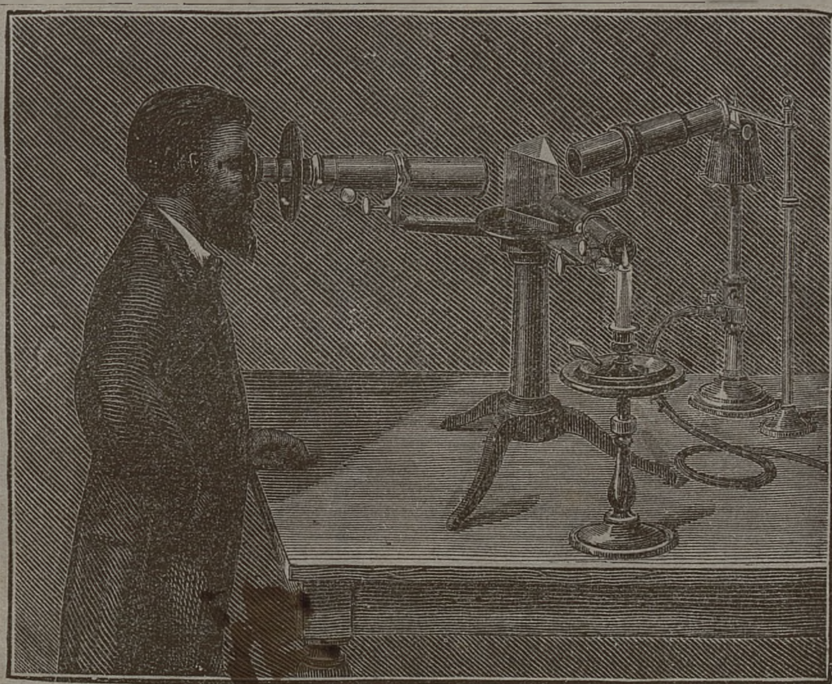
Druk Jana Cotty w Warszawie, Senatorska 29.

Cena 20 kop. **Zeszyt 25.** Cena 20 kop.

SIŁY PRZYRODY.

POPULARNY WYKŁAD FIZYKI

I GŁÓWNIEJSZYCH JEJ ZASTOSOWAŃ.



Spektroskop.

Podług dzieła A. Guillemin'a „Le monde physique"

OPRACOWALI

Józefowa Nusbaum

bak. n. prz.

i

Henryk Silberstein

dr. fil., b. as. chem. przy un. w Bernie.

WARSZAWA.

Nakładem Księgarni **H. Olawskiego**, ul. Mazowiecka № 6.

1889.

odczynników, które reagując na siebie wydzielają gaz, mający uledz skropleniu. Zmuszony do nagromadzania się w ograniczonej przestrzeni, gaz ten osiąga olbrzymią prężność i wtedy mogą zajść trzy wypadki: albo naczynie pęka, co już zdarzało się, albo też reakcya chemiczna ustaje, co również miewało miejsce lub wreszcie gaz skrapla się i ten właśnie ostatni wypadek jest najczęstszy. W podobny sposób Faraday skroplił amoniak. Uczony ten zauważył, że chlorek srebra posiada własność pochłaniania znacznej ilości amoniaku przy zwykłej temperaturze i wydzielania go podczas ogrzewania. Wprowadził on chlorek srebra do zamkniętego ramienia szklanej zgiętej rurki (fig. 448),



Fig. 448. Doświadczenie Faraday'a.

której drugie ramię było otwarte i ostro zakończone. Następnie wprowadził do rurki amoniak, który ulegał w niej pochłanianiu, zalutował otwarty koniec i zanurzył go w mieszaninie oziębiającej, ogrzewając jednocześnie chlorek srebra, zawarty w zamkniętem ramieniu. Amoniak wydzielał się wtedy z chlorku i zbierał w części zimniejszej, pod postacią przezroczystej cieczy. Przy zwykłej temperaturze chlorek znów pochłania amoniak i przyrząd raz na zawsze przygotowany, może służyć za każdym razem, gdy się chce powtórzyć doświadczenie.

Thilorier posługiwał się taką samą metodą przy skraplaniu kwasu węglanego. Przyrząd jego składa się z cylindra *P* (fig. 449) o bardzo mocnych ścianach. Z początku robiono cylin-

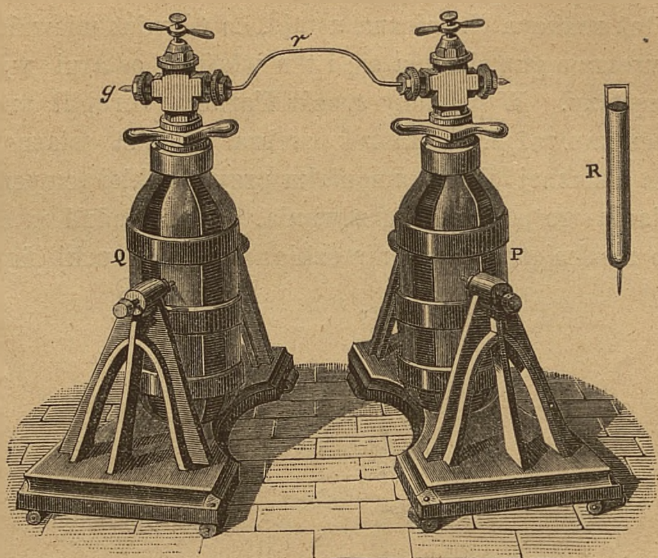


Fig. 449. Przyrząd Thilorier'a.

der ten z żelaza, ponieważ jednak nie można było ręczyć za jego wytrzymałość, przygotowywano go następnie z miedzi i ściskano z zewnętrz żelaznemi obręczami i sztabami. W pokrywie znajduje się otwór, zamknięty korkiem ze szrubą, przez który wprowadza się do wnętrza cylindra substancye, mające wytworzyć gaz, a mianowicie dwuwęglan sodu i kwas siarczany. Dwuwęglan umieszcza się na dnie cylindra, zaś kwas siarczany, wzięty w ilości potrzebnej do rozłożenia dwuwęglanu, wlewa się do wązkiego otwartego u góry naczynia *R*, które widać oddzielnie na rysunku i następnie dopiero wprowadza do cylindra. Po zamknięciu tego ostatniego obraca go się kilkakrotnie około poziomej osi, podtrzymującej go pośrodku, przez co kwas siarczany częściowo wylewa się na dwuwęglan sodu. Reakcya chemiczna się rozpoczyna i wydzielający się wewnątrz przyrządu kwas węglany osiąga prężność, równą 80-ciu atmosferom; wtedy skrapla

się, lecz jest zmieszany z ciałami, z których powstał. Chcąc otrzymać go w czystym stanie, należy go poddać dystylacyi. Proces ten nie jest tak trudny, jak się na pozór wydaje, albowiem dystylacya odbywa się sama przez się, skoro tylko łączy się za pomocą mocnej miedzianej rury *r* cylinder *P*, w którym wytworzył się gaz, z drugim cylindrem *Q* zupełnie jednakowym, lecz napełnionym powietrzem i nieco oziębionym. Ponieważ podczas reakcyi chemicznej wydziela się, jak później zobaczymy, ciepło które ogrzewa cylinder *P*, różnica w temperaturze wystarcza do wywołania dystylacyi ciekłego kwasu węglanego z *P* do *Q*, gdzie znów ulega skropleniu pod wpływem własnego ciśnienia.

Kwas węglany można otrzymać także jako ciało stałe. Kran zamykający cylinder *Q*, zaopatrzony jest w rurkę, która dochodzi do ciekłego kwasu węglanego. Otóż po odemknięciu otworu *g*, znajdującego się z boku krana, kwas węglany pod wpływem wielkiego ciśnienia wytryskuje z siłą i przechodzi natychmiast w stan lotny. Lecz tylko część gazu ulatnia się, albowiem ciepło utajone przy tej zmianie stanu jest tak znaczne, że pozostała część cieczy krzepnie i tworzy białe płatki krystaliczne, które zbiera się w specyalnie do tego przygotowanych pudełkach mosiężnych. Stały kwas węglany słabo przewodzi ciepło i zachowuje się bardzo długo na powietrzu; zetknięty z termometrem powoduje jego obniżenie do — 79°. Stanowi więc on doskonałą substancyę oziębiającą, lecz ażeby uczynić go jeszcze bardziej skutecznym, należy go zwilżyć eterem, przez co masa jego staje się lepszym przewodnikiem. Jednakowoż umieszczony na dłoni nie powoduje na niej tak silnego wrażenia zimna, jakby można sądzić, co pochodzi ztąd, że ciało to nie styka się dokładnie ze skórą. Lecz gdy zmieszamy go z eterem, zimno jest tak wielkie, że płatek stałego kwasu węglanego, umieszczony na skórze, niszczy jej tkanki, podobnie jak dotknięcie rozpalonej substancyi. Wspomniana mieszanina powoduje w ciągu kilku sekund zmarźnięcie cztery razy większej masy rtęci. Faraday zanurzył w mieszaninie rurkę, napełnioną ciekłym kwasem węglanym i otrzymał go pod postacią zbitej masy, przezroczystej jak lód.

W przyrządzie Thilorier'a oraz Faraday'a gaz tworzy się w zamkniętej przestrzeni i ulega skropleniu pod wpływem własnego ciśnienia, w przyrządzie zaś Cailletet'a, odznaczającym się wielką prostotą, powiększa się ciśnienie za pomocą sposobu mechanicznego, używanego już przez Natterer'a. Przyrząd Cailletet'a jest tylko udoskonalonym przyrządem Colladona ze Szwecyi i Andrews'a z Anglii. Lecz metoda polegająca na oziębieniu gazu wskutek jego rozszerzenia jest o tyle oryginalna o ile nowa. Sam przyrząd (fig. 450) składa się z naczynia *BB'* z kutego że-

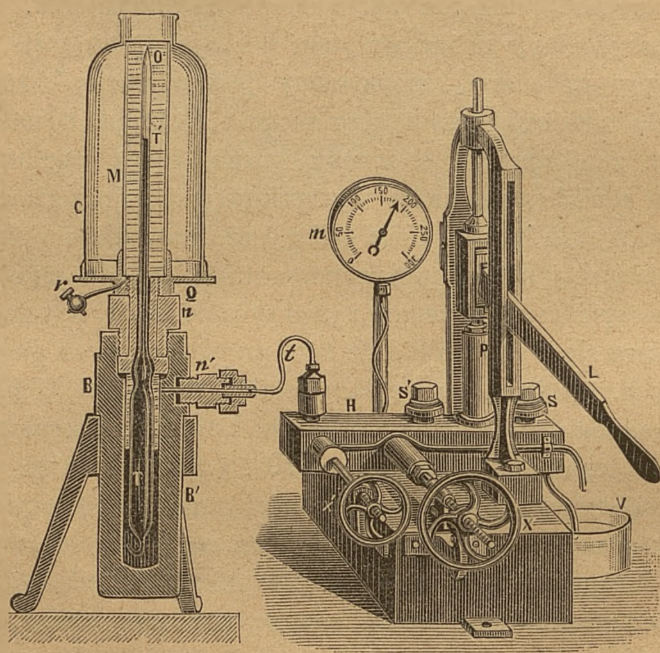


Fig. 450. Przyrząd Cailletet'a.

laza, do połowy napełnionego rtęcią. W tej ostatniej jest zanurzona epruwetka *TO*, której górna połowa, wązka i zamknięta, zawiera gaz, mający uledz skropleniu, dolna zaś połowa jest szersza i u dołu otwarta; epruwetkę tę podtrzymuje osada szrubowa *n*. Z boku naczynia *B* znajduje się druga osada szrubowa *n'* z kanałem pośrodku, do którego dochodzi rura *t*, przeprowadza-

jąca wodę, wtłaczaną do niej przez pompę *P*. Jeden tłok, wprawiany w ruch za pomocą koła *X*, służy do spotęgowania ciśnienia, kran zaś poruszany przez koło *X'*, umożliwia rozszerzenie gazu ściśnionego. Manometr *m*, umieszczony na pudle *H*, pokazuje wielkość ciśnienia. Po wprowadzeniu do naczynia *BB'* epruwetki z gazem, zaciska się silnie szrubę *n* i przyszrubowuje nad nią talerz *Q*, podtrzymujący rękaw *M*, który jest napełniony zimną wodą. Wreszcie dla uniknięcia uderzeń odłamkami szkła, w razie gdyby epruwetka miała pęknąć, otacza się wszystko kryształowym kloszem *C*. Gdy przyrząd jest w ten sposób przygotowany, wprawia się pompę w ruch za pomocą dźwigni *L*; wtedy woda, wsysana z rezerwoaru *V* i wtłaczana przez rurę *t*, ściska rtęć w naczyniu *BB'* tak, że ciecz ta podnosi się w epruwetce. Ciśnienie w przyrządzie może dojść do 200 atmosfer, przy jednoczesnem zaś działaniu tłoka o kole *X* do 500 atmosfer. Z początku nie spostrzega się żadnej zmiany w stanie ściskanego gazu, lecz przy pewnem ciśnieniu, zależnem od gazu i temperatury, warstwa cieczy poczyna spływać wzdłuż wewnętrznej ścianki epruwetki i zbiera się na powierzchni rtęci; od tej chwili manometr wskazuje stałe ciśnienie, równe maximalnéj prężności skroplonego gazu.

W ten sposób Cailletet skroplił acetylen i dwutlenek azotu, lecz tlenek węgla, tlen, azot i wodór, przy temperaturze — 29°, nie skraplały się przy ciśnieniu 300 atmosfer. Należało tedy uciec się jeszcze do wpływu obniżenia temperatury, które towarzyszy nagłemu rozszerzeniu ściśnionego gazu. Gdy otwiera się kran, wprawiany w ruch przez koło *X'*, ciśnienie zostaje odrazu zmniejszone do 1 atmosfery, gaz w epruwetce *TO* rozszerza się momentalnie, co powoduje obniżenie temperatury równe 200° poniżej temperatury pierwotnej. Wtedy w epruwetce pojawia się mgła mniej lub więcej gęsta, co jest oznaką częściowego skroplenia gazu. Cailletet skroplił w ten sposób tlenek węgla oraz tlen, lecz w tych samych warunkach azot i wodór przedstawiały tylko nader słaby obłoczek, który oznaczał jedynie początek skroplenia.

Przyrząd Raula Pictet'a nie jest tak prosty jak przyrząd Cailletet'a, lecz za to jest bez porównania potężniejszy, albowiem łączy w sobie możność wywierania olbrzymiego ciśnienia i wytwarzania bardzo nizkiej temperatury. Podobnie jak w przyrządzie Thilorier'a gaz tworzy się w zamkniętem naczyniu i ulega swemu własnemu ciśnieniu. Co do oziębienia, to z początku osiąga się je za pomocą ciągłego ulatniania ciekłego kwasu siarkawego, następnie przez ulatnianie kwasu węglanego lub tlenku azotu, poprzednio skroplonych i wreszcie przez rozszerzenie ściśnionego gazu, z którym odbywa się doświadczenie. Pictet skroplił w przyrządzie swoim tlen przy temperaturze — 130° i ciśnieniu równem 273 atmosferom. Co do rezultatów odnośnych doświadczeń z wodorem, należy je przyjąć z pewnem zastrzeżeniem, albowiem nie zgadzają się z rezultatami otrzymanemi przez innych eksperymentatorów. Otóż podług Pictet'a wodór skroplił się się przy — 140° i pod ciśnieniem 650 atmosfer, a nawet zamienił się w ciało stałe w następujących warunkach: Gdy już gaz został skroplony i gdy odkręcono szrubę umieszczoną na końcu rury, w której zgęszczenie miało miejsce, ciecz gwałtownie wyrzucona na zewnątrz wskutek ciśnienia tej części, która pozostała gazową, oziębiła się jeszcze bardziej dzięki częściowemu ulatnianiu. Pictet utrzymuje, że wtedy widział prąd nieprzezroczysty, barwy stalowej i słyszał dźwięk, podobny do tego, jaki wydaje śrut rzucony o ziemię; dźwięk ten przypisuje on stałemu wodorowi. Zdaje się, że co do ostatniego punktu, Pictet był ofiarą pewnego złudzenia.

Gazy tlen i tlenek węgla, oziębione tylko do temperatury 0° i ściskane, nie skraplają się nawet pod ciśnieniem 500 atmosfer; zobaczymy wkrótce jaka jest tego przyczyna. Lecz gdy w podobnych warunkach ciepło, powstałe wskutek ściskania gazu, przechodzi do cieczy oziębiającej, która otarza rurkę ze ściskanym gazem i gdy otwiera się nagle odpowiedni kran, wtedy gaz raptownie się rozszerza i w rurce pojawia się mniej lub więcej znaczny obłok, który jednak znika po upływie kilku chwil. Powstawanie obłoku i jego szybkie znikanie tłomaczy się w następujący sposób. Wskutek nagłego rozszerzenia gaz oziębia się

o tyle, że skrapla się pod małem ciśnieniem, pod jakiem jeszcze pozostaje. Ponieważ rozszerzanie trwa dalej, ciśnienie słabnie coraz bardziej i wreszcie nie wystarcza do utrzymania gazu w stanie ciekłym; oprócz tego gaz ogrzewa się wskutek zetknięcia z otoczeniem i dlatego ów obłok (gaz skroplony) szybko znika, szczególniej w doświadczeniu z azotem, a jeszcze bardziej z wodorem.

W roku 1883 Wróblewski i Olszewski posunęli badania o krok dalej, otrzymali oni mianowicie tlen, tlenek węgla i azot w stanie ciekłym długotrwałym. Przyrząd ściskający jest taki sam jak u Cailletet'a. Górny zamknięty koniec rurki, zawierającej gaz, który ma być skroplonym, jest zgięty kolankowato i otoczony ciekłym etylenem, poprzednio oziębionym. Temperaturę jego obniża się jeszcze przez wytworzenie ponad nim próżni za pomocą maszyny pneumatycznej. Do skroplenia tlenu przy temperaturze — 136^0 wystarczało ciśnienie 20 atmosfer; zresztą gaz ten można także skroplić przy mniej nizkiej temperaturze. Azot i tlenek węgla daleko trudniej skroplić, aniżeli tlen; przy temperaturze -- 136^0 otrzymuje się je w stanie ciekłym jedynie przy pomocy nagłego ich rozszerzenia, przedstawiają się wtedy jako ciecze bezbarwne. Ponieważ tlen względnie łatwo się skrapla, Wróblewski i Olszewski używali go też jako substancyi oziębiającej. Ciekły tlen pod ciśnieniem atmosferycznem wrze przy — 184, gdy zaś ulatnia się w próżni temperatura spada poniżej — 200^0. Temperatura ta wystarcza do skroplenia azotu, powietrza atmosferycznego, tlenku węgla, a nawet do zamrożenia azotu. Azot stały otrzymano przez nagłe rozszerzenie azotu ściśnionego i oziębionego w otoczeniu ciekłego tlenu; tworzy on kryształy, mające wygląd śniegu. Co do wodoru skroplono go dopiero pod ciśnieniem 100 atmosfer i przy pomocy nagłego rozszerzenia w obec najniższej temperatury, jaką można było otrzymać. Wróblewski i Olszewski zgadzają się, że jest to ciecz bezbarwna i nader małej gęstości, lecz twierdzą, że nie przypomina w niczem metalu, o jakim wspomina Pictet.

Uczonych zajmowało także pytanie, czy ciało lotne *zawsze* można zamienić w ciało ciekłe, niezależnie od temperatury, jeżeli

tylko ciśnienie jest dostatecznie silne. Pytanie to dało początek badaniom pierwszorzędnej wagi, a rezultaty ich stanowiły przewodnią nić dla wszystkich fizyków, którzy w ostatnich czasach zajmowali się skraplaniem gazów. Rzecz oczywista, że powiększając stopniowo ciśnienie, wywierane na gaz lub na parę, zmniejsza się wreszcie ich objętość do bardzo małego ułamka pierwotnej objętości. Gęstość ich jest wtedy nader znaczna i może być porównana z gęstością zwykłych cieczy. Cailletet ścisnął powietrze do 700 atmosfer *przy temperaturze 15°*, przyczem objętość gazu zmniejszyła się 450 razy, a gęstość jego odnośnie do wody była równa około 0,6. Otóż w tego rodzaju doświadczeniach z gazami, które uważano dawniej za niedające się skroplić, to jest za tak zw. gazy trwałe, nie można było nigdy uwidocznić *przy zwykłej temperaturze*, bez względu na wielkość ciśnienia, takiego nagłego zmniejszenia objętości, jakie towarzyszy skropleniu pary.

Z drugiej strony poszukiwania Driona wykazały, że spółczynnik rozszerzalności cieczy przegrzanych jest równy, a nawet większy od spółczynnika rozszerzalności gazów. W pewnych warunkach ciśnienia gazy mogą stopniową drogą osiągnąć gęstość cieczy, ciecze zaś — rozszerzalność gazów. Cagniard-Latour i Drion starali się dowiedzieć czy pomiędzy cieczą i jej parą istnieje nieprzerwany szereg stanów pośrednich, przez które stopniowo przechodzi ciało, gdy zmienia jeden z tych stanów na drugi, czy też istnieje widoczna przerwa pomiędzy stanami ciekłym i lotnym. Otóż doświadczenia ich wykonane z eterem, alkoholem, siarkiem węgla, wodą, ciekłym kwasem siarkawym, pokazują, że przy dostatecznie wysokiej temperaturze wszelka różnica pomiędzy cieczą i jej parą znika, że w każdym razie nie *różnią się już one wtedy pod względem gęstości i wyglądu;* samo ciśnienie nie wystarcza przy wysokiej temperaturze do wytworzenia takiej widocznej granicy, jaką zwykle otrzymujemy przy skraplaniu pary. Zjawiska te dokładniej jeszcze zbadał Andrews. Oto rezultaty jakie otrzymał z kwasem węglanym. Gdy przy temperaturze 13°,1 powiększano ciśnienie, objętość gazu zmniejszała się, pod ciśnienien 48,89 atmosfer zaczął się skraplać, przy

dalszem zaś powiększaniu ciśnienia objętość cieczy malała. Przy 21°,5 skraplanie rozpoczęło się dopiero pod ciśnieniem 61 atmosfer. W obu tych wypadkach granica pomiędzy cieczą i gazem była zupełnie wyraźna. Lecz gdy podwyższono temperaturę do 31°,1 wtedy w miarę powiększania ciśnienia powierzchnia graniczna stawała się coraz mniej wyraźną, wreszcie znikła zupełnie i wnętrze przyrządu wypełniło się jednostajnym płynem. Otóż temperatura przy której ciecz i jej para nasycona posiadają jednakową gęstość stanowi tak zw. *punkt krytyczny.*

W ogóle chcąc skroplić gaz nie dosyć jest ściskać go przy jakiejkolwiek temperaturze. Kwas węglany przy 100°, poddany najsilniejszemu ciśnieniu, stawiałby taki sam opór przeciwko skropleniu, jak tlen i azot przy zwykłej temperaturze; zaliczonoby go wtedy do trwałych gazów. Znika tedy wszelka istotna granica pomiędzy trwałemi i nietrwałemi gazami, a więc pomiędzy gazami i parami. Powyżej pewnej *temperatury krytycznej*, równej dla kwasu węglanego 31°,1 i znacznie niższej od 0° dla gazów do niedawna uważanych za trwałe (tlen, azot, wodór, tlenek węgla, dwutlenek azotu i gaz błotny), skroplenie jest niemożliwe; poniżej tej temperatury odbywa się ono przy ciśnieniu tem słabszem, im niższa jest temperatura. Gdy gaz posiada temperaturę niższą od jego temperatury krytycznej, wtedy można go skroplić przez samo ściskanie, jak np. kwas węglany poniżej 31°,1 podczas gdy powyżej tego punktu samo oziębienie jest skuteczne. Skombinowane działanie ciśnienia, dochodzącego do 100 atmosfer i temperatury, równej — 110° pozwoliły Faraday'owi skroplić wszystkie znane gazy, oprócz tych, które tylko co wymieniliśmy i które uważano za trwałe. Widzieliśmy, że dzięki pracom Cailletet'a, Pictet'a, Wróblewskiego i Olszewskiego, którzy potrafili dostatecznie obniżyć temperaturę, trwałe te jakoby gazy również zostały skroplone. Powiedzieliśmy wyżej, że tlen i tlenek węgla przy 0° nie skraplają się nawet pod ciśnieniem 500 atmosfer; przyczyną tego jest, że temperatura krytyczna tych gazów jest bardzo nizka. Tlen oziębiony do — 136° skrapla się już pod ciśnieniem dwudziestu atmosfer.

Zdefiniowaliśmy punkt krytyczny jako *temperaturę, przy której ciecz i jej para nasycona mają jednakową gęstość.* W chwili takiej nie są one już oddzielone od siebie, to znaczy, że para nie wznosi się ku górze, ciecz nie opada ku dołowi. Lecz ogólne prawo parowania nie jest przezto wcale w danym wypadku naruszone, albowiem ciecz pozostaje wtedy przy swym punkcie parowania oraz posiada swą maximalną prężność, nie widać zaś jej dlatego, że jest zmieszana z gazem, w którym pływa z powodu jednakowej z nim gęstości.

Powyższa definicya punktu krytycznego została najprzód sprawdzona przez Jamin'a na gazach prostych, następnie objaśnił on za jej pomocą pewne zjawisko, zaznaczone przez Andrews'a, a szczególniej przez Cailletet'a i dotyczące ściśliwości oraz punktu krytycznego mieszaniny.

W roku 1880 Cailletet zrobił następujące doświadczenie. Ściskał on w swoim przyrządzie mieszaninę, składającą się z jednej części powietrza i pięciu części kwasu węglanego. Z początku kwas węglany skroplił się pod umiarkowanem ciśnieniem, lecz gdy następnie Cailletet, nie zmieniając temperatury, powiększył ciśnienie do 150 lub 200 atmosfer, utworzona ciecz znikła całkowicie tak, że mogłoby się zdawać iż powiększenie ciśnienia powoduje stan krytyczny, podobnie jak podwyższenie temperatury, co jest zupełnie nieprawdopodobne. Oto jak Jamin objaśnia to ciekawe zjawisko. Pod wpływem umiarkowanego ciśnienia, kwas węglany osiąga swój punkt zgęszczenia i z początku częściowo się skrapla. Gdy nadal zmniejsza się objętość mieszaniny, ciśnienie kwasu węglanego już nie wzrasta, albowiem osiągnęło ono swe maximum, lecz prężność powietrza powiększa się dalej do nieskończoności, a wraz z niem i gęstość atmosfery gazowej. Gęstość ta staje się wreszcie równą gęstości powstałej przedtem cieczy, która już nie pozostaje nadal na dnie naczynia, lecz rozchodzi się po całej atmosferze gazowej, znajdującej się w temże naczyniu, albowiem straciła ona podług zasady Archimedesa cały swój ciężar.

Jeżeli objaśnienie to jest słuszne, wtedy wziąwszy w powyższem doświadczeniu wodór zamiast powietrza, powinniśmy przez

to odsunąć znacznie granicę ciśnienia, przy której gęstości cieczy i gazu stają się równe, a więc przy której ciecz znika dla oczu. Wniosek ten, przewidziany przez Jamin'a, został sprawdzony przez Cailletet'a. Ten ostatni przygotował dwie mieszaniny, z których jedna zawierała 5 objętości kwasu węglanego i 1 obj. powietrza, druga zaś 5 ob. kw. węglanego i 1 ob. wodoru. W obu wypadkach pod wpływem wzrastającego ciśnienia menisk skroplonego kwasu zacierał się z początku: był to moment, w którym gęstość cieczy była równa gęstości gazu; następnie ciecz znikała i—zgodnie z teoryą—znikała przy ciśnieniu daleko większem w mieszaninie kwasu z wodorem, aniżeli w mieszaninie kwasu z powietrzem. [1])

ROZDZIAŁ III.

Kalorymetrya.

§ 1. Ciepło właściwe. Metody mierzenia ciepła właściwego.

W poprzednich rozdziałach, przy rozpatrywaniu wpływu ciepła na rozmaite ciała, staraliśmy się przedstawić zjawiska, jakim one podlegają, gdy są ogrzane do różnej temperatury. Obecnie zjawia się przed nami pytanie, jaka ilość ciepła jest potrzebna do wywołania odnośnych zjawisk z rozmaitemi substancyami, innemi słowy jaka ilość ciepła jest konieczna do tego, ażeby dane ciała ogrzać do określonej temperatury? Gdy np. spalamy w atmosferze tlenu 1, 2, 3... gramy węgla, albo gdy ogrzewamy od zera do t^0 1, 2, 3,.... kilogramy jakiegobądź ciała, to oczywiście, że ilości ciepła, jakie się wtedy wydzielają lub jakie zostają pochłonięte są proporcyonalne do liczb 1, 2, 3... Z przykładów tych wynika, że ilości ciepła, które się tworzą podczas procesów chemicznych (np. spalanie węgla), albo które się nagromadzają w ciele podczas jego ogrzewania, mogą być mierzone za pomocą jakiejś umówionej jednostki.

---

[1]) Jamin, l. c. Tome II.

Za jednostkę taką można przyjąć ilość ciepła, pochłoniętą przez ciało podczas jakiejkolwiek zachodzącej z niem zmiany, pod warunkiem że ta ostatnia jest ściśle określona i że łatwo jest odtwarzać ją w okolicznościach zawsze jednakowych. Zwykle za jednostkę przyjmujemy ilość ciepła, potrzebną do podwyższenia od 0^0 do 1^0 temperatury 1 grama wody dystylowanej i jednostkę taką nazywamy *ciepłostką* (kalorya) [1]. Posługiwanie się nią jest szczególnie wygodne z tego względu, że przy podwyższaniu temperatury 1 grama wody od t^0 do $t^0 + 1^0$ potrzeba zawsze jednej ciepłostki, bez względu na to jaka jest temperatura t. W istocie gdy do naczynia ogrzanego do 50^0 wprowadzimy jednocześnie dwie równe masy wody, jedną przy temperaturze 0^0, drugą zaś przy 100^0 i gdy następnie, zmieszawszy je szybko, zmierzymy temperaturę, zobaczymy, że będzie ona równa 50^0. A więc samo naczynio nic nie straciło i nic nie zyskało na cieple, lecz woda ogrzana do 100^0 straciła ciepło, potrzebne do podwyższenia jej temperatury od 50^0 do 100^0 i oddała je drugiej masie wody, której temperatura podniosła się od 0^0 do 50^0. W ogóle powtarzając to doświadczenie z dwiema masami wody o temperaturze t^0 i t'^0 otrzymamy zawsze końcową temperaturę równą średniej arytmetycznej pomiędzy niemi czyli równą $\frac{t+t'}{2}$.

Zróbmy teraz inne doświadczenie. Do naczynia, mającego temperaturę $3^0,22$ wprowadźmy jednocześnie dwie równe masy wody przy 0^0 i rtęci przy 100^0 i zmieszajmy; znajdziemy, że końcowa temperatura wody i rtęci wynosi $3^0,22$; naczynie nic więc nie straciło i nic nie zyskało, rtęć zaś, oziębiwszy się od 100^0 do $3^0,22$ to jest o $96^0,78$, straciła to, co zyskała woda, czyli 3,22 ciepłostek na każdy gram. Wynika z tego, że gram rtęci, którego temperatura obniża się tylko o 1^0, wydziela średnio $\frac{3,22}{96,78} = 0,03332$ ciepłostek. Ta ostatnia liczba wyraża w ciepłostkach ilość ciepła, potrzebną do ogrzania 1 grama rtęci o 1^0.

---

[1]) Jednostkę tę określają także mianem *małej ciepłostki*. Ciepłostką czyli kaloryą zowią wtedy ilość ciepła potrzebną do podwyższenia od 0^0 do 1^0 temperatury 1 kilograma wody; jednostka ta jest tedy tysiąc razy większa od tamtej, nazywa się ją też niekiedy *dużą ciepłostką*.

Doświadczenia, podobne do tego, jakie opisaliśmy tutaj dla rtęci, pokazały, że *ilość ciepła potrzebna do podwyższenia o 1° temperatury 1 grama ciała, jest różna dla rozmaitych substancyj;* ilość ta jest dla każdej z nich stała i charakterystyczna i nosi nazwę *ciepła właściwego*.

Następujące doświadczenie Tyndalla, dowodzi w sposób wielce przekonywujący, że rozmaite substancye, przy tej samej wadze i temperaturze, zawierają niejednakowe ilości ciepła. Krążek wosku, mający w średnicy 15 do 20 centymetrów i około 12 milimetrów w grubości, osadza się na metalowej obrączce (fig. 451).

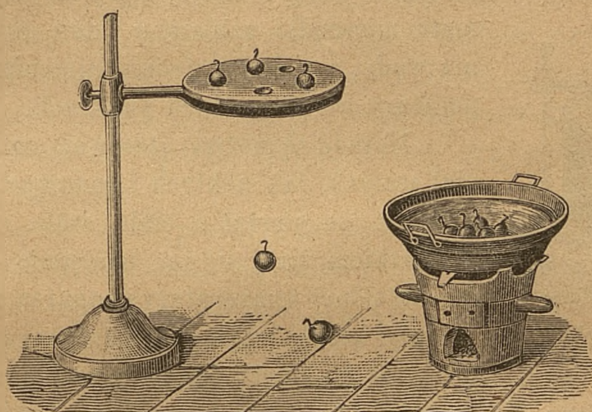


Fig. 451. Doświadczenie Tyndalla.

Naczynie obok stojące zawiera oliwę, której temperatura jest równa 180°. Do tej gorącej oliwy wrzuca się kilka metalowych kulek: żelazną, ołowianą, bizmutową, cynową, miedzianą, a więc każdą z innego metalu. Kulki te, zanurzone w oliwie, mają jednakową temperaturę, a mianowicie temperaturę oliwy. Gdy po wydobyciu ich z tej cieczy umieszcza się je na krążku wosku, topią go one swem ciepłem i grzęzną w nim, lecz każda w innym stopniu. Żelazna i miedziana zanurzają się w wosku daleko szybciej, niż inne, najgłębiej po nich wtapia się cyna, ale ołów i bizmut opóźniają się bardzo. Kulka żelazna przetapia nawet krążek na wskroś, miedziana zdąża za nią, dolną powierzchnię cynowej widać już wtedy od spodu, ołowiana zaś i bizmutowa zaledwie się wtopiły. Doświadczenie to pokazuje, że przy tym sa-

mym ciężarze i temperaturze kulka żelazna zawiera więcej ciepła, aniżeli kulka miedziana, ta ostatnia więcej aniżeli kulka cynowa i tak dalej.

Zobaczmy teraz jakie istnieją metody oznaczania ciepła właściwego rozmaitych ciał.

Metoda mieszanin od czasów Black'a była przedmiotem najliczniejszych studyów i najlepiej też jest udoskonalona. Przyrząd używany w danym razie składa się z mosiężnego naczynia o cienkich i gładkich ścianach, zawieszonego na jedwabnych niciach (fig. 452), słabo przewodzących ciepło. Naczynie jest napełnione wodą, w której zanurza się termometr; mieszadło szklane a służy do poruszania wody, a więc do ujednostajnienia jej temperatury we wszystkich punktach.

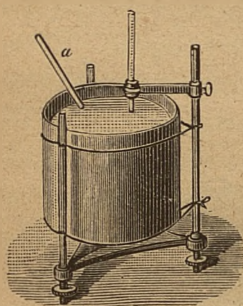


Fig. 452. Kalorymetr wodny.

Metodę tę można stosować zarówno do ciał stałych, jak ciekłych i gazowych. Przypuśćmy, że chodzi o ciało stałe. Przedewszystkiem waży się je, następnie ogrzewa do określonej temperatury i zanurza w zimnej wodzie, której waga i temperatura są wiadome. Z ilości ciepła, jaką ciało oddaje wodzie, oblicza się jego ciepło właściwe. Niechaj p przedstawia ciężar ciała, T jego temperaturę w chwili zanurzenia i c jego ciepło właściwe, niechaj dalej m wyobraża wagę zimnej wody i t jej pierwotną temperaturę; wreszcie m' jest to waga naczynia, zawierającego wodę, c' jego ciepło właściwe, temperatura zaś jego jest oczywiście równa t. Po zanurzeniu gorącego ciała w wodzie, temperatura jej się podnosi i wreszcie dochodzi do pewnego stałego maximum, które oznaczamy przez t'; taką też jest temperatura ciała w końcu doświadczenia. A więc ciało to oziębiło się o ilość stopni, równą $T—t'$, którą to liczbę należy pomnożyć przez wagę ciała p oraz przez jego ciepło właściwe c, ażeby otrzymać całkowitą ilość ciepła, jaką ono straciło. Przeciwnie woda i naczynie ogrzały się o ilość stopni równą $t' — t$, przyczem waga m wody pochłonęła ilość $m\,(t' — t)$ ciepła, naczynie zać o ciężarze m' i cieple właściwem c' pochłonęło ilość $m'\,c'\,(t' — t)$ ciepła. Otóż

ilość ciepła, jaką straciło ciało ogrzane jest równa sumie ilości ciepła, pochłoniętych przez wodę i naczynie. Z równania tego łatwo można znaleść szukane ciepło właściwe *c* badanego ciała, jeżeli ciepło właściwe *c'* kalorymetru jest znane.

Chcąc opisaną metodę uczynić zupełnie ścisłą, należy także wziąć pod uwagę ciepło pochłonięte przez termometr, mieszadło i inne akcessorya. Gdy badane ciała stałe słabo przewodzą ciepło, należy je podzielić na bardzo małe kawałki i umieścić w koszyczku z siatki metalowej; gdy zaś ciało jest płynne, umieszcza się je w rurce. W obydwóch wypadkach do powyższego równania należy wprowadzać ciężar i ciepło właściwe koszyczka lub rurki. Oprócz tego należy jeszcze brać w rachubę stratę ciepła, jaką ponosi kalorymetr w czasie, który upływa pomiędzy zanurzeniem ciała i chwilą, gdy bada się końcową temperaturę. Starano się w rozmaity sposób sprowadzić tę przyczynę błędu do możliwego minimum.

Metodą mieszanin posługiwało się bardzo wielu eksperymentatorów, którzy zajmowali się oznaczaniem ciepła właściwego ciał stałych i ciekłych. Użyta z początku przez Black'a, była następnie stosowaną przez Dulong'a i Petit'a, którzy ogrzewali ciała do 100^0 lub 300^0 we wrzącej wodzie albo oliwie i którzy określali najprzód ilość tych cieczy, jaka pozostawała na ciele. Była ona również używana i udoskonalona przez Pouillet'a, Neumann'a i wreszcie Regnault zbudował przyrząd, służący do regulowania obserwacyj.

Favre i Silbermann w szczególny sposób stosowali metodę mieszanin, którą posługiwali się głównie przy badaniu zjawisk cieplnych, wymagających długiego czasu. Przyrząd ich składa się z żelaznej albo szklanej kuli *A* (fig. 453, str. 784), napełnionej rtęcią; kula ta komunikuje z wązką rurką *a b o*, oprócz tego do wnętrza jej wchodzi jeden lub więcej wązkich tygielków metalowych, otwartych na zewnątrz i na rysunku oznaczonych linią kropkowaną. Instrument ten stanowi właściwie termometr o bardzo wielkim zbiorniku i o rurce *a b o*, nader wązkiej. Gdy w jakikolwiek sposób dostanie się doń określona ilość ciepła, rtęć rozszerza się proporcyonalnie do tej ilości, wierzchołek jej prze-

suwa się w rurce podzielonej na części, ruch zaś jego obserwuje się za pomocą lunety *L*. Deseczki otaczające kulę *A* można podnieść do góry; tworzą one wtedy skrzynkę, którą napełnia się

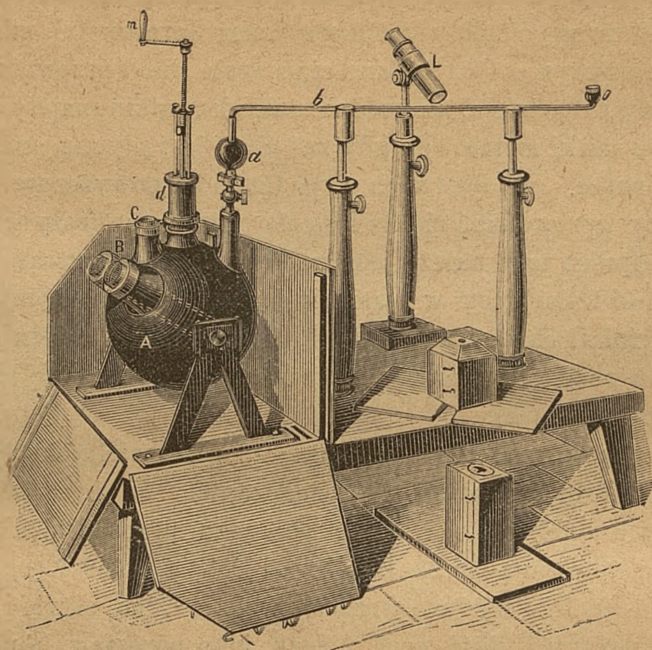


Fig. 453. Kalorymetr Favre'a i Silbermanna.

puchem łabędzim lub watą, ażeby uniknąć wszelkiej utraty ciepła. Przed rozpoczęciem doświadczenia sprowadza się wierzchołek rtęci w rurce do punktu, oznaczonego zerem, co osiąga się za pośrednictwem tłoka, osadzonego w rurze *d* i poruszanego za pomocą rączki *m*. Przy opuszczaniu lub podnoszeniu tłoka rtęć zostaje wpędzona lub wypchnięta tak, że wierzcholek zawsze może być doprowadzony do zera, niezależnie od temperatury. Ilość ciepła, wydzielonego podczas jakiegobądź zjawiska fizycznego lub chemicznego, zachodzącego wewnątrz wspomnianego tygielka metalowego, oblicza się z łatwością, ponieważ wiadomo, że np. *a* ciepłostek odpowiada jednej podziałce na rurce. Znany ciężar *p* cieczy ogrzewa się do temperatury *T* i wprowadza

do tygielka; tutaj oziębia się ona do temporatury t', a więc traci ilość $T - t'$ stopni. Ilość ta pomnożona przez ciężar p cieczy oraz szukane ciepło właściwe x wyraża liczbę straconych przez nię ciepłostek, którą nietrudno znaleść znając ilość n podziałek, na jakie przesunęła się rtęć w rurce przyrządu, oczywiście bowiem że $p \times c \times (T - t') = n \times a$, zkąd oblicza się wartość c.

Inna metoda oznaczania ciepła właściwego ciał polega na następującem: oblicza się wiele lodu przy zerze zamienia się w wodę przy zerze pod wpływem tej ilości ciepła, jaką chcemy zmierzyć; ponieważ zaś wiadomo, że 1 gr. lodu pochłania wtedy 80 ciepłostek, to należy ciężar powstałej wody pomnożyć przez 80, ażeby otrzymać szukaną ilość w ciepłostkach.

Metodę tę obmyślił Wilcke, lecz Black i Irwine pierwsi umożliwili dokładne jej zastosowanie. Black przygotował kalorymetr z bryły czystego lodu, pozbawionego pęcherzyków; wyżłobił on w niej jamę, w której umieszczał ciała badane i nakrywał pokrywką, również przygotowaną z lodu (fig. 454), przyczem bardzo starannie obcierał z wody wnętrze jamy oraz pokrywkę. W przyrządzie takim lód, stanowiący wewnętrzną ścianę jamy oraz dolną powierzchnię pokrywki nie topił się wcale, albowiem ciepło było zatrzymywane przez zewnętrzne ściany kalorymetru.

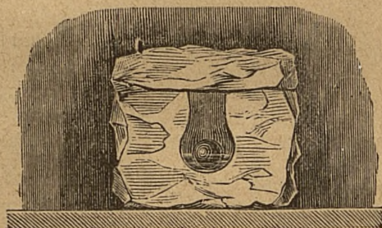


Fig. 454. Kalorymetr lodowy Black'a.

Wtedy ogrzewano do określonej temperatury t ciało badane, unoszono pokrywkę i po wrzuceniu go do jamy, zamykano napowrót przyrząd. Po pewnym czasie, gdy ciało oziębiało się do zera, otwierano znów kalorymetr, zbierano nader starannie całkowitą ilość wody, powstałą ze stopienia lodu i otrzymywano w ten sposób ciężar tego ostatniego. Jeżeli P oznacza wagę ciała badanego, C jego ciepło właściwe i jeżeli oziębiło się ono od temperatury t do zera to oczywiście straciło ilość $P \times C \times t$ ciepłostek; z drugiej zaś strony jeżeli p oznacza wagę stopionego lodu, to pochłonął on ilość $80 \times p$ ciepłostek. Ponieważ przyjmujemy, że to co

straciło ciało, zyskał lód, to $P \times C \times t = 80 \times p$, zkąd łatwo już obliczyć wartość C.

Laplace i Lavoisier przyjęli taką samą metodę, lecz bryłę lodu zastąpili przez kalorymetr o budowie nieco bardzo złożonej, aniżeli poprzedni. Przyrząd ich przedstawiony w całości oraz w pionowem przecięciu na figurze 455, składa się z trzech naczyń metalowych, wstawionych j e d n o w drugie. W środkowem M umieszcza się ciało badane, pozostałe zaś dwa to jest naczynia A i B napełnia się tłuczonym lodem; lód w A ulega stopieniu pod wpływem ogrzanego ciała w M, lód zaś w naczyniu B zatrzymuje c i e p ł o, przenikające z zewnątrz do przyrządu. Dwa krany E i D służą do wypuszczania wody, powstałej ze stopienia lodu. Niedokładność tego przyrządu jest widoczna: kawałki lodu zatrzymują wodę, której ilość nie daje się obliczyć Dodajmy wreszcie, że co się tyczy opisywanej w tem miejscu metody, to Bunsen powziął myśl określania ciężaru stopionego lodu na zasadzie zmniejszenia objętości, jakiemu on ulega przy przejściu ze stanu stałego w ciekły. Z powodu braku miejsca nie możemy się tutaj wdawać w opis przyrządu Bunsena, powiemy tylko, że jego metoda zdaje się być tak samo dokładną, jak metoda mieszanin.

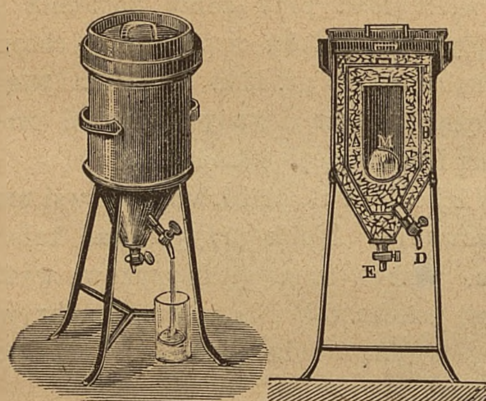


Fig. 455. Kalorymetr Lavoisier'a i Laplace'a,

Przy badaniu ciepła właściwego ciał ciekłych, można także znanej masie danej cieczy dostarczyć lub odjąć wiadomą ilość ciepla, a następnie zmierzyć spowodowaną przez to zmianę w temperaturze. Metoda ta, którą pierwszy użył Black, zowie się porównawczą dlatego, że porównywał on zmiany w temperaturze, wywolane przez jeden i ten sam płomień, palący się przez

czas określony w kalorymetrze, do którego kolejno wprowadzał jednakowe masy różnych cieczy. Ten sposób wytwarzania jednakowych ilości ciepła był oczywiście niedokładny i dlatego Black go porzucił. Następnie Thomsen dokonał mierzeń bardziej dokładnych spalając w kalorymetrze równe masy wodoru, który palił się ze stałą szybkością i ogrzewał przyrząd proporcyonalnie do czasu. Wreszcie wspomnimy tylko o metodzie oziębiania, którą posługiwali się Dulong i Petit oraz Regnault. Polega ona na tem, że dwa różne ciała, mające jednakową powierzchnię i jednakową zdolność oddawania ciepła, ogrzane do temperatury t i umieszczone w otoczeniu, posiadającem temperaturę zera, tracą w tym samym, nader małym czasie, jednakowe ilości ciepła, co powoduje zmiany w temperaturze, będące w stosunku odwrotnym do ciężarów dwóch ciał oraz do ich ciepła właściwego.

§ 2. Ciepło właściwe ciał stałych, ciekłych i gazowych. Ciepło topliwości, ciepło lotności. Niektóre zasady termochemii.

Obecnie zjawia się przed nami pytanie, czy ciepło właściwe danego ciała jest niezmienne, czy też zależy od warunków temperatury, stanu fizycznego i t. p., w jakich ciało się znajduje. Otóż Dulong i Petit pierwsi wypowiedzieli zdanie, stwierdzone także przez doświadczenie, że w ogóle *ciepło właściwe ciała wzrasta, gdy temperatura jego się podnosi.* Innemi słowy chcąc podnieść temperaturę ciała od 200° do 300° potrzeba do tego więcej ciepła, aniżeli przy ogrzaniu od 100° do 200°, w tym ostatnim zaś wypadku więcej, aniżeli przy ogrzaniu od zera do 100°. Doświadczenia Dulong'a i Petit'a nad metalami: żelazem, rtęcią, cynkiem, antymonem, srebrem, miedzią, pokazały to bardzo wyraźnie. Późniejsze badania innych uczonych, obejmujące jeszcze, oprócz wymienionych metali, cynę, stal, ołów i platynę pokazały, że dla wszystkich tych ciał pomiędzy zerem i 300° ciepło właściwe znacznie wzrastało wraz z podwyższaniem temperatury. Podług Violle'a ciepło właściwe złota zaledwie zmienia się do 600° i jest równe wtedy 0.0324 lecz w miarę zbliżania się do temperatury topliwości tego metalu cieplo to wzrasta, przy 900°

wynosi ono 0,0345, przy 1020 jest równe 0,0352. Djament oraz inne odmiany węgla przy zwykłej temperaturze mają dość małe ciepło właściwe, które jednak szybko wzrasta przy podwyższaniu temperatury.

Regnault wykonywał doświadczenia ze znaczną ilością ciał ciekłych, przyczem woda, jako szczegolnie ważna, była przedmiotem specyalnych jego eksperymentów. Okazało się również, że jej ciepło właściwe wcale nie jest stałe; jedynie począwszy od temperatury 0° ciepło to jest równe 1,0000, gdy tymczasem przy temperaturze 20° wynosi już 1,0012, przy 100° jest równe 1,0130, przy 230° ciepło właściwe wody wynosi 1,0568. Podobny rezultat Regnault otrzymał także dla olejku terpentynowego, alkoholu, siarku węgla, eteru i chloroformu. Zauważmy tutaj, że woda posiada większe ciepło właściwe, aniżeli inne substancye, a szczególniej aniżeli metale. Dzięki znacznemu cieplu właściwemu wody ogrzanie lub oziębienie jej wymaga długiego czasu, przyczem pochłania ona lub oddaje daleko więcej ciepła od każdego innego ciała, wziętego w tej samej masie i przy tej samej temperaturze. Ta własność wody znalazła liczne zastosowania. Musimy jednak dodać, że podług Hirna, ciepło właściwe alkoholu, bardzo szybko wzrastające wraz z temperaturą, jest przy 160° większe od ciepła właściwego wody przy 100°, wynosi mianowicie wtedy 1,11389.

Co do wpływu gęstości oraz stanu fizycznego ciał na ich ciepło właściwe, można powiedzieć, że co się tyczy ciał stałych, to w ogóle ich ciepło właściwe zmniejsza się, gdy gęstość się powiększa. Obok przykładów, gdzie zmiany te są nieznaczne, istnieją i takie, gdzie ciepło właściwe jednej i tej samej substancyi może przedstawiać duże różnice. Różnice te w ogóle są bardzo ważne dla takich ciał, które mogą przybierać rozmaite postacie fizyczne. Tak np. ciepło właściwe węglanu wapnia pod postacią aragonitu jest równe 0,2085, węglanu pod postacią kredy równe 0,2148, i wreszczcie węglanu pod postacią marmuru wynosi 0,2158. Również i ciepło właściwe siarki przedstawia znaczne różnice, zależnie od tego czy jest ona naturalnie krystaliczną, albo też od dawna lub świeżo topiona. Co do węgla to Weber

twierdzi, że wszystkie jego odmiany posiadają jednakowe ciepło właściwe.

Z poprzedniego wynika, że ciepło właściwe ciał powinno ulegać zmianie, gdy przechodzą one ze stanu stałego w ciekły lub gazowy, albowiem przejściu temu towarzyszą wielkie zmiany w gęstości, układzie cząstek i temperaturze. W ogóle ciepło właściwe w stanie stałym jest o wiele mniejsze, aniżeli w stanie ciekłym, gdy zaś ciało staje się lotnem, posiada znów mniejsze ciepło właściwe, niekiedy takie same, jak w stanie stałym. Reasumując te dane należy przyznać, że bardzo mało znamy prawa, podług których zmienia się ciepło właściwe ciała, mogącego przybierać rozmaite postacie. Nic nie wiemy także jaki wpływ wywiera w danym razie ciśnienie.

Ciepło właściwe gazów można oznaczyć odnośnie do ciepła właściwego wody lub powietrza. W pierwszym razie przedstawia ono ilość ciepła, potrzebną do podniesienia o 1^0 temperatury grama gazu, w drugim zaś wypadku jest to stosunek ilości ciepła potrzebnych do podniesienia o 1^0 temperatury określonej objętości gazu i takiej samej objętości powietrza. Wiemy, że objętość gazu może zmieniać się wskutek zmiany jego prężności lub temperatury. Gdy zaś ogrzewamy gaz, wtedy albo on swobodnie się rozszerza, nie zmieniając przytem ciśnienia, albo zachowuje stałą objętość, lecz ciśnienie jego coraz bardziej wzrasta. Należało tedy zbadać, czy dwom tym sposobom ogrzewania odpowiadają jednakowe, czy też różne ilości pochłoniętego ciepła i dlatego określano oddzielnie ciepło właściwe gazów przy stałem ciśnieniu i zmiennej objętości oraz przy stałej objętości i zmiennem ciśnieniu.

Badaniem ciepła właściwego gazów odnośnie do wody zajmowali się Delaroche i Berard. W tym celu mierzyli oni ilość ciepła, udzieloną znanej masie wody przez określoną masę gazu, który krążył w wężownicy, umieszczonej w cieczy i następnie obliczali z tego ciepło właściwe gazu na podstawie rachunku, analogicznego do rachunku używanego przy kalorymetrycznej metodzie mieszanin. Ci sami fizycy oznaczyli ciepło właściwe gazów przy stałem ciśnieniu, odnośnie do powietrza, przez porównanie ilości ciepła, udzielonych określonej masie wody przez

równe objętości gazu i powietrza, przy jednakowych warunkach temperatury i ciśnienia w ciągu całego doświadczenia. Później temu samemu przedmiotowi poświęcali badania swe de la Rive, Marcet, oraz Regnault.

Stosunek ciepła właściwego gazu przy stałem ciśnieniu do jego ciepła właściwego przy stałej objętości posiada bardzo ważne znaczenie teoretyczne i dlatego stanowił przedmiot licznych badań. Po raz pierwszy został on określony przez dwóch uczonych Clément i Desormes; znaleźli oni, że dla powietrza stosunek $\frac{C'}{C}$ jest równy 1,354, gdzie C' oznacza ciepło przy stałem ciśnieniu, C zaś przy stałej objętości. Późniejsi badacze, którzy posługiwali się taką samą, co i poprzedni metodą, znaleźli rozmaite liczby, wahające się pomiędzy 1,354 i 1,405, co dowodziło, że wspomniana metoda nie jest ścisła. Dlatego też najczęściej używa się metody, opartej na obliczaniu prędkości dźwięku w gazach, liczby znalezione za pomocą tej metody wahają się pomiędzy 1,401 i 1,410. Dla par rtęciowych znaleziono, że stosnnek $\frac{C'}{C}$ jest równy 1,666. Wreszcie Jamin i Richard uciekli się do nowej bezpośredniej metody i otrzymali liczby zupełnie zgodne z temi, które otrzymano za pomocą poprzedniej metody pośredniej. Wogóle tedy widzimy, że *ciepło właściwe gazów przy stałem ciśnieniu jest większe od ich ciepła właściwego przy stałej objętości.*

Wiemy, że gdy ciała przechodzą ze stanu stałego w ciekły, utajają przytem pewną, mniej lub więcej znaczną, ilość ciepła. *Ciepłem topliwości* ciała stałego nazywamy ilość ciepłostek, potrzebnych do zamiany jednostki masy tego ciała w ciecz, bez podniesienia jego temperatury.

Ciepło topliwości ciał oznacza się za pomocą metody mięszanin, przyczem przyjmuje się, że gdy ciało ciekłe krzepnie, wtedy zwraca dokładnie taką samą ilość ciepła, jaką pochłonęło podczas topienia. Znany ciężar p ciała należy stopić i po zaobserwowaniu jego temperatury topliwości t zanurzyć w wodzie, której ciężar p' oraz temperatura t' również są znane. Niechaj c oznacza cieplo właściwe ciała w stanie stałym, r jego ciepło topliwości i T końcową temperaturę wody, ogrzanej przez ciało. Ciężar

p' wody, której ciepło właściwe jest równe jedności, ogrzawszy się od t'^0 do T^0, pochłonął ilość ciepła równą $p' \times (T - t')$. Ciało zaś, którego ciężar jest p i ciepło właściwe równe c, oziębiwszy się od t^0 do T^0, straciło ilość ciepła równą $p \times c \times (t - T)$, oprócz tego podczas krzepnienia straciło jeszcze $r \times p$, to jest iloczyn z ilości ciepła r potrzebnej do stopienia jednego kilograma ciała i wagi p. Ponieważ to, co zyskała woda, jest równe temu, co ciało w sumie straciło, to ułożywszy odpowiednie równanie, w którem, jak widzimy, wszystkie wartości, oprócz szukanego ciepła topliwości r, są znane, można z łatwością znaleść z niego tę szukaną wartość.

Ciepło topliwości lodu przedstawia szczególny interes ze względu na zastosowania, jakie można pod tym względem zrobić z lodem. Oznacza się je również za pomocą metody mieszanin. Znany ciężar P lodu przy zerze wrzuca się do masy p wody, ogrzanej do temperatury t, wystarczającej do stopienia całego lodu. Natychmiast po jego stopieniu mierzy się końcową temperaturę T mieszaniny, a mając te dane oblicza się, na mocy analogicznego do powyższego rachunku, ciepło topliwości lodu. La Provostaye i Desains posługując się taką właśnie metodą, znaleźli liczbę 79,25 ciepłostek; Person, który wykonał liczne doświadczenia nad ciepłem topliwości wielu ciał prostych i złożonych, otrzymał tę samą liczbę. Dla porównania podajemy tutaj niektóre dane o cieple topliwości innych ciał:

Substancya.	Ciepło topliwości.
Lód	79,25
Cynk	28,13
Srebro	21,07
Cyna	14,25
Kadm	13,66
Bizmut	12,64
Siarka	9,37
Ołów	5,57
Fosfor	5,03
Rtęć	2,83

Powiedzieliśmy już w jednym z poprzednich paragrafów, że powstawaniu pary towarzyszy utajanie się ciepła i dlatego wszelkie parowanie stanowi przyczynę oziębiania. Wiemy dalej, że wrzenie stanowi tylko szczególny wypadek parowania, przy którym również pewna ilość ciepła zostaje pochłoniętą. Można tego z łatwością dowieść za pomocą doświadczenia, gdzie wrzenie odbywa się pod wpływem zmniejszonego ciśnienia. Doświadczenie to pierwszy wykonał Leslie. Pod kloszem pompy powietrznej umieszcza się krystalizator *B* (fig. 456) napełniony stężonym kwasem siarczanym, który pochłania parę wodną, ponad krystalizatorem zaś ustawia się mosiężną miseczkę *A*, bardzo lekką i płytką, w której na dnie znajduje się cienka warstwa wody. Po wytworzeniu pod kloszem możliwej próżni, woda zaczyna szybko wrzeć, ponieważ pary jej natychmiast ulegają pochłonięciu przez kwas siarczany, to wrzenie trwa ciągle, lecz przy przejściu cieczy w stan lotny ciepło zostaje utajone, przez co ciecz wkrótce oziębia się do zera i marznie. Widzieliśmy, że podobne doświadczenia, zmodyfikowane przez Carre'a, pozwoliły mu otrzymywać znaczne ilości lodu.

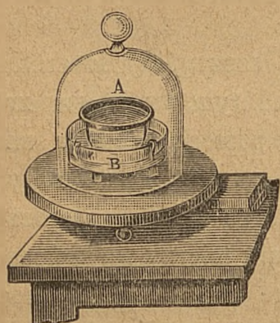


Fig. 456. Doświadczenie Lesli'ego.

Ciepłem lotności nazywamy tę ilość ciepła, jaką należy dostarczyć 1 gramowi cieczy przy jakiejkolwiek temperaturze, ażeby zamienić ją w parę nasyconą przy takiej samej temperaturze. Przy określaniu ciepła lotności przyjmujemy, że para, skraplając się, oddaje ilość ciepła dokładnie równą ilości pochłoniętej przy jej powstawaniu. Figura 457 (str. 793) przedstawia przyrząd używany przez Despretz'a. Para tworzy się w retorcie *C*, gdzie temperaturę jej wskazuje termometr, a z retorty przechodzi do wężownicy, zanurzonej w zimnej wodzie. Tutaj para skrapla się i oddaje poprzednio utajone ciepło wężownicy oraz wodzie w naczyniu *B*. Woda powstała ze skroplenia pary spływa do zbiornika *P*, do którego dochodzi wężownica; wodę tę po ukoń-

czeniu doświadczenia zbiera się i waży, a waga jej jest równa wadze pary, która przeszła przez przyrząd. Mieszadło *A*, wprawiane w ruch ręką, służy do poruszania wody w naczyniu *B* tak,

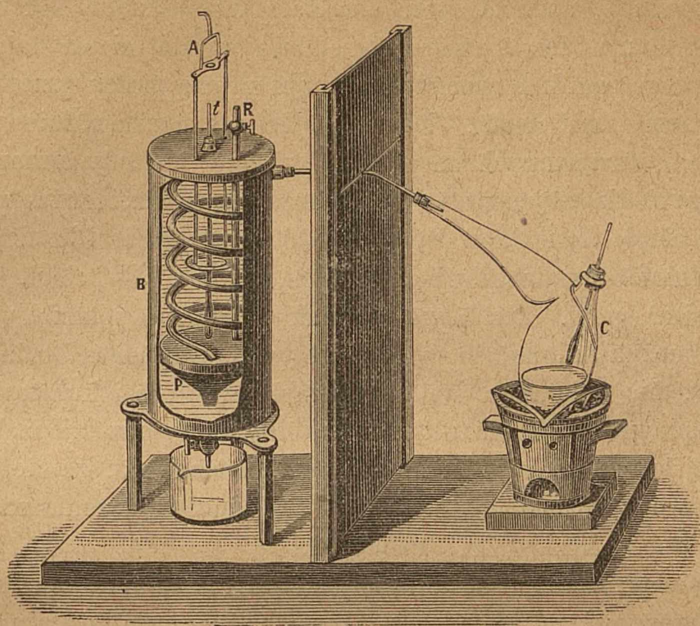


Fig. 457. Przyrząd do oznaczania ciepła lotności.

ażeby cała jej masa miała jednakową temperaturę; tę ostatnią wskazuje termometr *t*, umieszczony wzdłuż osi wężownicy. Wreszcie od zbiornika *P* odchodzi rurka, zakończona kranem *R*. Chcąc zmienić ciśnienie, a więc i temperaturę pary, łączy się kran ten za pomocą rurki kauczukowej z pompą powietrzną, rozrzedzającą lub ściskającą.

Doświadczenie rozpoczyna się od tego, że ciecz w retorcie ogrzewa się najprzód do temperatury wrzenia i następnie dopiero łączy retortę z wężownicą; po przerwaniu komunikacyi zbiera się wodę, skroploną w *P* i waży. Mając jej wagę i temperaturę w chwili wejścia do wężownicy, a także wagę wody w *B*, naczynia i pozostałych akcessoryów oraz ich temperaturę w początku i w końcu doświadczenia i przyjąwszy, że to co w sumie straciła

para, to one zyskały, można z łatwością obliczyć ciepło lotności danej cieczy.

Metoda ta nie jest dostatecznie ścisła dlatego, że część pary, przechodząc przez szyjkę retorty oraz przez rurkę prowadzącą do wężownicy, skrapla się i jako ciecz dostaje się do kalorymetru, któremu w ten sposób nie oddaje swego ciepła lotności. Oprócz tego sam kalorymetr otrzymuje zawsze przez przewodnictwo pewną ilość ciepła. To nam objaśnia znaczne różnice w rezultatach, otrzymanych za pomocą opisanej metody przez dawniejszych eksperymentatorów. Podczas gdy Black i Irwine znaleźli, że ciepło lotności wody przy 100° jest równe 430 ciepłostkom, Rumford znalazł liczbę 570 ciepł. Walt 533 ciepł., Despretz 540 ciepł. Niedawno jednak Berthelot pokazał w jaki sposób można uniknąć pomyłek, wpływających na te błędne rezultaty, nie uciekając się do skomplikowanych i kosztownych przyrządów, które Regnault'owi pozwoliły przeprowadzić nadzwyczaj ścisłe tego rodzaju badania. Berthelot znalazł, że ciepło lotności wody wynosi średnio 636,2 ciepł., doświadczenia zaś Regnault'a dały liczbę 636,6 ciepłostek.

Wiemy, że rozpuszczaniu się ciał stałych — o ile nie tworzy się przytem związek chemiczny — towarzyszy zjawisko utajania się ciepła; jest to analogia do procesu topienia się ciał. Widzieliśmy, że większość soli, rozpuszczając się w wodzie, powoduje obniżenie temperatury i że tak zwane mieszaniny oziębiające najprostsze nie są właściwie niczem innem, jak rozpuszczaniem. Również i rozpuszczanie gazu w wodzie można porównać do jednego ze znanych nam już zjawisk, a mianowicie do skroplenia pary; towarzyszy mu też wydzielanie ciepła w znacznej ilości; szczególniej w wypadku gdy gazy są bardzo rozpuszczalne, jak np. amoniak. Ilość wydzielonego ciepła zależy jednocześnie od natury rozpuszczonego gazu oraz od ilości rozpuszczalnika.

Zwykłe metody kalorymetryczne nadają się dość dobrze do mierzenia ciepła, wydzielającego się przy rozpuszczaniu gazu. Ten ostatni, ogrzany w wężownicy otoczonej wodą do temperatury kalorymetru, ulega pochłonięciu przez zważoną ilość cieczy; ciecz ta ogrzewa się, należy więc zmierzyć o ile temperatura jej się po-

dniosła, ażeby módz obliczyć szukaną ilość wydzielonego ciepła. Widzieliśmy także w pierwszej księdze niniejszego dzieła (patrz str. 209), że pochłanianie gazów przez ciała stałe połączone jest z ich zgęszczeniem. Otóż temu procesowi towarzyszy wydzielanie ciepła w nader znacznej ilości, która podług Favre'a może być o wiele większa od ilości ciepła, wydzielonego przy zwykłem skropleniu gazów, jak np. w wypadku pochłaniania amoniaku przez węgiel. Prawdopodobnie tworzy się tutaj pewnego rodzaju związek zgęszczonego gazu z ciałem stałem, przyczem wydziela się ciepło. Gazy, uważane dawniej za trwałe, jak tlen i wodór, również powodują podwyższenie temperatury, gdy ulegają pochłonięciu przez węgiel. W prochowniach zdarzało się, że masy sproszkowanego węgla zapalały się same na wilgotnem powietrzu wskutek pochłaniania pary wodnej.

Fizyczną zmianę stanu ciała, jak topienie lub krzepnienie, charakteryzuje zmiana wszystkich własności fizycznych, której towarzyszy pochłanianie lub wydzielanie ciepła; zmiana taka najczęściej odbywa się z jedną substancyą, skład której pozostaje niezmieniony. Charakterystyczne cechy zmian fizycznych odnajdujemy także we wszystkich reakcyach *chemicznych*, z tą jednak różnicą, że tutaj jest konieczny udział kilku substancyj, które łączą się, rozkładają lub też wzajemnie wymieniają swe części składowe.

Ciała złożone, czyli składające się z kilku rodzajów materyi, mogą ulegać tak zwanej *dyssocyacyi;* jest to częściowy rozkład, ograniczony przez wpływ ciśnienia, jakie na ciało złożone wywiera gaz, będący rezultatem rozkładu. Tak np. węglan wapnia, utrzymywany przy temperaturze 960^0, rozkłada się częściowo na wapno palone i kwas węglany, dopóki ciśnienie, wywierane przez ten gaz, nie dochodzi do 520 milim. Wtedy rozkład ustaje, lecz rozpoczyna się natychmiast po zmniejszeniu ciśnienia, wywieranego przez kwas węglany. Naodwrót gdy ogrzewa się wapno palone do 960^0 w obecności kwasu węglanego i pod ciśnieniem np. jednej atmosfery, wtedy kwas węglany ulega pochłanianiu tak długo, dopóki ciśnienie wynosi więcej, niż 520 milim., w chwili zaś gdy ono osiąga tę granicę, pochłanianie ustaje.

Powiadamy tedy, że węglan wapnia przy 960^0 posiada *prężność dyssocyacyjną* równą 520 milimetrom. H. Sainte-Claire Deville, który odkrył zjawiska dyssocyacyi, zwrócił uwagę na ich ścisłą analogię do zjawisk parowania; prężność dyssocyacyjna odgrywa tutaj taką samą rolę, jak maximalna prężność par przy parowaniu. Jedyna różnica polega na tem, że para, wydzielająca się z ciała, które dyssocyuje, posiada inny skład chemiczny, aniżeli to ciało. Dyssocyacyi, podobnie jak parowaniu, towarzyszy utajanie się ciepła.

Topienie i ulatnianie nie są jedynemi zmianami stanu, jakie ciepło może spowodować w ciele, którego skład chemiczny pozostaje niezmieniony. Niektóre ciała mogą także z odmiany stałej, bezkształtnej lub krystalicznej przejść w inną odmianę stałą, ciekłą albo lotną, różniącą się od tamtej pod względem ciepła właściwego oraz innych własności fizycznych. Obecnie znane są conajmniej cztery odmiany siarki, oraz cztery odmiany fosforu.

O ciałach takich powiadamy, że są wielokształtne albo *allotropiczne.* Do nich należą także ciała proste: selen, węgiel, bor, krzem i wreszcie tlen, którego odmianę allotropiczną widzimy w ozonie. Co do ciał złożonych, szczególniej organicznych, to pomiędzy niemi można znaleść jeszcze daleko liczniejsze przykłady allotropii. Niekiedy można dowolnie wytwarzać wyłącznie jedną lub drugą odmianę danego ciała, zmieniając w odpowiedni sposób warunki jej powstawania. Wogóle jedna z odmian ciała allotropicznego pozostaje niezmieniona przy zwykłej temperaturze, wszystkie zaś inne, przechodząc w tę odmianę, wydzielają przytem ciepło. I tak odmiana siarki krystalizująca w pryzmaty, przechodzi powoli w kryształy oktaedryczne; to samo stosuje się do siarki miękiej, w obu zaś razach wydziela się ciepło. Lecz wszystkie odmiany siarki ogrzane do 270^0 przechodzą w siarkę mięką, a kryształy oktaedryczne zmieniają się przy 100^0 w małe kryształy pryzmatyczne.

Łączenie się ciał charakteryzuje nietylko to, że stosunek wagowy łączących się substancyj jest stale zachowany, lecz także i to, że przy tworzeniu się związku pewna ilość ciepła zostaje

wydzieloną lub pochłoniętą, czyli innemi słowy, że podczas reakcyi chemicznej ciepłodajność jest dodatnia albo odjemna. Albowiem w wielu razach pojedynczą zmianę można rozłożyć na wiele innych zmian prostszych. Ciepłodajność tej pojedynczej całkowitej zmiany równa się sumie ciepłodajności tych prostszych składowych zmian. Ponieważ każdej z tych ostatnich odpowiada właściwa jej ciepłodajność dodatnia lub odjemna, to i suma algebraiczna ich może wypaść jako dodatnia albo odjemna. Gdy utworzony związek rozkłada się w warunkach zupełnie jednakowych z temi, w jakich powstał, wtedy pochłania on napowrót wydzieloną ilość ciepla. Z tego punktu widzenia skład i rozkład stanowią dwie przeciwne zmiany stanu, podobnie jak zgęszczenie i ulotnienie ciała o niezmiennym składzie.

Ciepłodajność reakcyi chemicznej zależy od warunków w jakich ona się odbywa, a mianowicie od temperatury oraz stanu fizycznego ciał, biorących w niej udział lub będących jej rezultatem. I tak gdy wodór i tlen łączą się ze sobą, tworząc wodę, wydziela się 29100 ciepłostek (na każde 8 gramów tlenu i 1 gram wodoru), jeżeli woda pozostaje jako ciało lotne; gdy ona przechodzi w ciecz, ilość wydzielonych jednostek ciepła równa się 34500 i wreszcie gdy woda zamienia się w ciało stałe wydziela się 35200 ciepłostek. Różnice te odpowiadają cieplu topliwości i lotności wody. Gdy przez połączenie dwóch gazów: chloru i wodoru tworzy się gazowy kwas solny, wydziela się przytem 22000 ciepłostek (na każde 35,5 gramów chloru i 1 gram wodoru), gdy tworzy się ten sam kwas w roztworze, wydziela się 39300 ciepłostek; różnica ta odpowiada cieplu, wydzielonemu przy rozpuszczaniu gazowego kwasu solnego.

Mierzenie ilości ciepła, wydzielanych podczas reakcyj chemicznych, wymaga pewnych specyalnych sposobów. Niekiedy mierzy się bezpośrednio wydzielone ciepło, a mianowicie wtedy, gdy reakcyę można oddzielnie wytworzyć wewnątrz kalorymetru, w większości jednak wypadków trzeba obliczać ciepłodajność związku z całego szeregu oddzielnych oznaczeń kalorymetrycznych, odnoszących się do rozmaitych reakcyj.

Lavoisier pierwszy starał się zmierzyć ciepło, wydzielane podczas reakcyj chemicznych, a szczególniej przy spalaniu wodoru i węgla. Spalał on określoną wagę tych substancyj wewnątrz swego kalorymetru i mierzył ilość stopionego lodu, lecz wszystkie liczby przez niego otrzymane są zbyt małe. Po nim badania podobne przedsiębrali Rumford, Despretz oraz Dulong, prawdziwie jednak dokładne rezultaty nauka zawdzięcza dwom uczonym Favre i Silberman, których bardzo liczne doświadczenia stanowią, że tak powiemy punkt wyjścia dla termochemii i są zaliczane do najlepszych. Przytaczamy kilka z tych rezultatów, dotyczących ilości ciepłostek, wydzielanych podczas spalania 1 grama niektórych ciał prostych, biorąc za ciepłostkę ilość ciepła, potrzebną do ogrzania 1 grama wody o 1°.

Substancye.	Ilość ciepłostek.
Wodór z tlenem	34462,0
Wodór z chlorem	23783,3
Węgiel drzewny	8080,0
Grafit naturalny	7796,6
Dyament	7770,1
Siarka rodzima	2261,8
Siarka świeżo skrystalizowana	2258,6
Siarka stopiona od siedmiu lat	2116,6
Siarka miękka	2250,0

Ciepłodajność przy spalaniu wodoru, obliczona na zasadzie sześciu bardzo zgodnych doświadczeń, równa się 34462 ciepłostkom, Dulong zaś znalazł liczbę większą, a mianowicie 34601 ciepłostek [1]).

---

[1]) Jamin, l. c.

ROZDZIAŁ IV.

Rozprzestrzenianie się ciepła.

§ 1. Ciepło promieniste.

Gdy ogrzane ciało znajduje się w sąsiedztwie albo styka się z substancyami, których temperatura jest niższa od jego temperatury, wtedy ciało to oziębia się i ogrzewa owe substancye. Wynika z tego, że ciepło się przenosi, co może odbywać się w sposób dwojaki: 1) Szybko i na odległość, to znaczy, że ciepło bezpośrednio przebywa drogę, oddzielającą dwa ciała; wtedy rozchodzi się ono przez *promieniowanie.* 2) Powoli i stopniowo za pośrednictwem materyalnych cząstek czyli drogą *przewodnictwa.* Rozpatrzymy najprzód zjawiska ciepła promienistego.

Własności i prawa ciepła promienistego były badane w początkach bieżącego wieku przez dwóch fizyków angielskich Lesli'ego i Rumford'a; w tym właśnie celu jeden i drugi starali się zbudować swe termometry różnicowe. Badania swe posunęli oni dosyć daleko, a przyrząd Lesli'ego do roku 1830 uchodził za najsubtelniejszy do studyów nad ciepłem promienistem. Lecz w owym właśnie czasie pewne odkrycia, dokonane w innej gałęzi fizyki, pozwoliły zbudować daleko czulsze termometry różnicowe, za pomocą których odkryto nowe zjawiska, dawniej zaś znane zbadano z większą dokładnością.

Codzienne doświadczenie przekonywa nas, że ciepło słońca, lamp lub ognisk przenika przez powietrze, szyby okien i wogóle przez wszystkie ciała przezroczyste stałe, ciekłe lub gazowe. Fakt ten, nie podlegający wątpliwości, był z początku objaśniany dwojako. Kilku fizyków twierdziło, że podczas tego przednia powierzchnia ciał pochłania ciepło otrzymane i oddaje je kolejno częściom dalej leżącym, które w ten sposób ogrzewają się. Inni sądzili, że ciepło sunie bezpośrednio przez dany środek nie zmieniając jego temperatury i że przebywa go momentalnie, podobnie jak światło. Ten ostatni pogląd został ostatecznie przyjęty, po dokonaniu następujących doświadczeń. Prévost z Genewy poka-

zał, że prąd cieplny przechodzi w jednakowej ilości przez warstwę wody nieruchomą albo znajdującą się w ruchu tak szybkim, że niema czasu się ogrzać. Pokazał on prócz tego, że wycięta z zamarzniętej wody wypukła soczewka, która topi się, lecz nie ogrzewa pod wpływem pochłoniętego ciepła, niemniej przeto przeprowadza i zbiera w swem ognisku promienie słoneczne w ilości, wystarczającej do zapalenia drzewa. Delaroche zaś dostrzegł, że przez szklaną tafelkę pokrytą sadzą, ciepło przestaje przechodzić właśnie dlatego, iż tafelka taka, pochłaniając je, ogrzewa się. Wreszcie fakt, że ciepło przebywa próżne przestrzenie wyłącza wszelką myśl o jego rozchodzeniu się drogą kolejnego ogrzewania; wiadomo wszak, że cieplne promienie słoneczne przybywają na ziemię po przejściu próżnych przestrzeni międzyplanetarnych. Rumford starał się dowieść tego za pomocą doświadczenia. W tym celu przygotował on długi i wązki barometr, zakończony u góry obszernym balonem, w środku którego znajdował się zbiornik termometru. Następnie po zatopieniu rurki barometru powyżej poziomu rtęci i poniżej balonu, odjął górną część, która w ten sposób była zamknięta i próżna. Gdy balon zanurzono w gorącej wodzie, termometr podniósł się natychmiast, to znaczy, że ciepło przechodziło przez próżnię barometryczną.

W jednym i tym samym środku ciepło rozchodzi się po linii prostej. Prawa tego można dowieść umieszczając pomiędzy termometrem i ogniskiem, który go ogrzewa, ekran metalowy, albo jakiekolwiek inne ciało, nie przepuszczające ciepła. Jeżeli ekran znajduje się na prostej linii, łączącej termometr ze źródłem ciepła, to ostatnie ulega zatrzymaniu. Co do prędkości, z jaką ciepło się rozchodzi, przyjmujemy, że ona równa się prędkości światła, wkrótce zaś zobaczymy bliżej, na jakich podstawach opiera się to twierdzenie.

Zanim jednak przystąpimy do dalszego opisu zjawisk ciepła promienistego musimy koniecznie poznać przedtem przyrząd, obecnie służący do wszystkich odnośnych doświadczeń, a mianowicie termometr różnicowy, który zbudowali Nobili i Melloni. Składa się on z dwóch części: z tak zwanego stosu termoelektrycznego i galwanometru. Stos (fig. 458 str. 801) jest utworzony

Roznosiciele mają Prospekty i Zeszyty na okaz!

Дозволено Цензурою, Варшава 21 Апрѣля 1889 г.

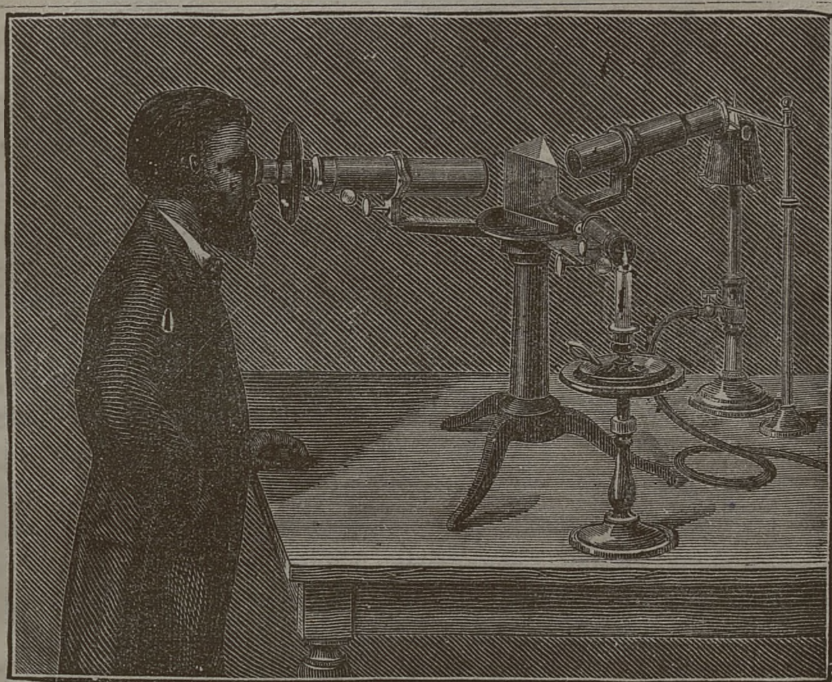
Druk Jana Cotty w Warszawie, Senatorska 29.

Cena 20 kop. **Zeszyt 26.** Cena 20 kop.

SIŁY PRZYRODY.

POPULARNY WYKŁAD FIZYKI

I GŁÓWNIEJSZYCH JEJ ZASTOSOWAŃ.



Spektroskop.

Podług dzieła A. Guillemin'a „Le monde physique"

OPRACOWALI

Józefowa Nusbaum

bak. n. prz.

i

Henryk Silberstein

dr. fil., b. as. chem. przy un. w Bernie.

WARSZAWA.

Nakładem Księgarni **H. Oławskiego**, ul. Mazowiecka № 6.

1889.

z pewnej ilości sztabek antymonowych (A) i bizmutowych (B), przylutowanych jedna do drugiej. Są one równoległe pomiędzy sobą, stykają się zaś tylko w miejscach spojenia; całość jest uło-

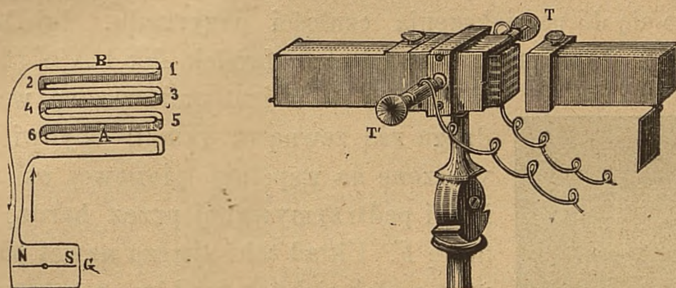


Fig. 458. Stos termoelektryczny.

żona w ten sposób, że spojenia nieparzyste 1, 3, 5 znajdują się po jednéj stronie, parzyste 2, 4, 6 po stronie drugiej. Lewa strona rysunku przedstawia stos szematycznie, prawa zaś — stos prawdziwy. Sztabki tworzą razem pryzmat o kwadratowej podstawie, który umieszcza się w mosiężnym futerale, zaopatrzonym w takież rury; te ostatnie przepuszczają ciepło w pewnym określonym kierunku. Do każdej z dwóch skrajnych sztabek dochodzi koniec miedzianego drutu, nawiniętego na drewnianą ramkę. W środku ramki znajduje się pozioma igiełka magnesowa, ruchoma wokoło poziomej osi, która ją podtrzymuje, sama zaś ramka jest umieszczona w płaszczyźnie pionowej, zawierającej igiełkę. Całość ta, utworzona przez igiełkę oraz drut, stanowi galwanometr G. Jeżeli w takich warunkach ogrzewamy parzyste miejsca spojenia, powstaje prąd elektryczny, który przebiega przez drut i powoduje zboczenie igiełki magnesowej; przy ogrzewaniu spojeń nieparzystych, rozwija się prąd o kierunku przeciwnym i igiełka zbacza w drugą stronę. Wreszcie gdy ogrzewamy jednocześnie i jednakowo spojenia parzyste i nieparzyste, igiełka pozostaje nieruchomą.

Gdyby galwanometr był poprostu zbudowany w sposób opisany, igiełka zbaczałaby tylko pod wpływem dość znacznych różnic w temperaturze. W celu nadania przyrządowi większej

czułości, Schweiger nawinął ów drut miedziany na ramkę nie raz jeden, lecz bardzo wielką ilość razy, ażeby zaś oddzielne jego skręty nie stykały się bezpośrednio, drut okręcono jedwabiem. Oprócz tego Nobili wprowadził ulepszenie, które najwięcej przyczyniło się do powiększenia czułości przyrządu. Igiełkę pojedyńczą zastąpił przez układ dwóch igiełek *NS* i *N'S'* (fig. 459), z których jedna jest umieszczona wewnątrz, druga zaś zewnątrz ramki; obydwie są zawieszone na wspólnej pionowej osi nie giętkiej i podtrzymywanej przez bardzo cienką nitkę *F*. Układ taki zbacza nawet pod wpływem nader słabych prądów, przebiegających przez skręty drutu.

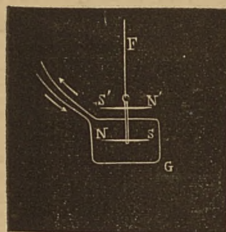


Fig. 459. Układ dwóch igiełek magnesowych.

Przyrząd opisany stanowi istotnie termometr różnicowy, wskazuje bowiem najmniejsze różnice w temperaturze miejsc spojenia, odpowiadające dwom stronom stosu i pozwala je mierzyć. Mianowicie wielkość zboczenia igiełki obserwuje się na cyferblacie, podzielonym na stopnie i umieszczonym poziomo pod górną igiełką galwanometru, przed rozpoczęciem zaś doświadczeń badacze dowiadują się, jakie ilości otrzymanego ciepła odpowiadają rozmaitym jej zboczeniom. Do samych doświadczeń Melloni używał jeszcze różnych środków pomocniczych: 1) sześcianu Lesli'ego *C* (fig. 460)

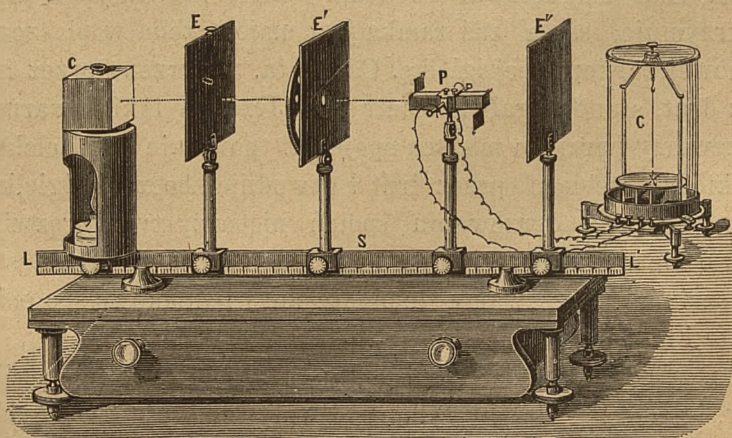


Fig. 460. Różne części przyrządu do doświadczeń nad ciepłem promienistem.

czyli naczynia, napełnionego wodą przy stałej temperaturze i którego ściany są pokryte rozmaitemi substancyami jakoto: sadzą, bielą ołowianą; 2) lampy Lacatelli'ego mogącej przez długi czas zachować stałą temperaturę i t. p. Oprócz tego należało umożliwić regulowanie kierunku promieni cieplnych, padających na jedną lub drugą stronę stosu *P*, w tym celu umieszcza go się na odpowiedniej wysokości tak, ażeby oś jego zlewała się z kierunkiem tych promieni. Ekrany *E* i *E''*, utworzone przez podwójne blaszki metalowe, chronią przyrząd z obu stron od wszelkiego dopływu ciepła pobocznego. Wreszcie ekran *E'* posiada pośrodku otwór, przez który wiązka promieni cieplnych dochodzi do stosu *P*; za pomocą przepony czyli diafragmy można otwór ten zwężać lub rozszerzać. Podstawa każdej z wymienionych części obejmuje u dołu podzieloną sztabę *LL'*, wzdłuż której można je przesuwać.

Mając taki przyrząd postarajmy się dowiedzieć, jaki istnieje związek pomiędzy natężeniem ciepła promienistego, padającego na daną powierzchnię i odległością tej ostatniej od źródła ciepła. Umieśćmy przed stosem *P* na znanej odległości wspomnianą wyżej lampę i usuńmy zupełnie ekran *E'* tak, ażeby jedna strona stosu otrzymywała swobodnie ciepło, pochodzące z tego źródła. Gdy następnie spuścimy ekran *E*, który jest ruchomo osadzony na podtrzymującej go nóżce, igiełka galwanometru zboczy; przypuśćmy, że zboczenie to wynosi 12⁰. Wtedy odsuwamy źródło ciepła na odległość *dwa* razy większą od poprzedniej i przekonywamy się, że zboczenie igiełki w tem drugiem doświadczeniu jest równe tylko 3⁰, czyli, że jest *cztery* razy mniejsze niż wprzódy. Powtarzając podobne doświadczenia dochodzimy do wniosku, że *natężenie ciepła, padającego na daną powierzchnię jest odwrotnie proporcyonalne do kwadratów z odległości tej powierzchni od źródła ciepła.* Widzieliśmy w księdze o świetle (patrz str. 411) że zupełnie takie same prawo istnieje co do natężenia światła. Teoretyczne rozumowania, przytoczone tamże, stosują się także do ciepła promienistego. Dalsze doświadczenia pokazały również, że *natężenie ciepła padającego na daną powierzchnię jest tem mniejsze, im większy jest jego kąt padania* to jest kąt,

jaki tworzy promień cieplny z prostopadłą do tej powierzchni. To co powiedzieliśmy wyżej (porównaj str. 413) o działaniu słonecznych promieni świetlnych, padających na ziemię, stosuje się tedy także i do promieni cieplnych, wysyłanych przez słońce. Wreszcie *natężenie promieni cieplnych, wysyłanych przez daną powierzchnię, jest tem mniejsze, im większy jest jego kąt wyjścia* to jest kąt, jaki tworzy promień z prostopadłą do elementu, promieniującego ciepło. Fourier uważał ostatnie prawo jako słuszne we wszystkich wypadkach, lecz Desains sądzi, że jest ono bardzo ograniczone i stosuje się jedynie do ciał pozbawionych zdolności odbijania ciepła, jak np. sadza.

Powietrze, woda, lód, oraz dość znaczna ilość innych ciał stałych, ciekłych i gazowych przepuszcza ciepło. Ciała takie zowią się *przecieplającemi*, te zaś, które własności takiej nie posiadają są *nieprzecieplające*. Jedna i ta sama substancya niejednakowo przepuszcza promienie cieplne, pochodzące z rozmaitych źródeł ciepła. Tafelka szkła przepuszcza obficie ciepło słoneczne, umieszczona zaś przed źródłem o względnie nizkiej temperaturze, naprzykład przed zapalonym piecem, zatrzymuje prawie zupełnie promienie cieplne. Herschell w roku 1803 i Delaroche w roku 1814 wykonali doskonale doświadczenia nad tym przedmiotem, lecz dopiero przyrząd Melloni'ego pozwolił posunąć dalej odnośne badania. Pokazało się, że sól kamienna przepuszcza prawie zawsze 0,92 padającego na nią ciepła, niezależnie od źródła z którego ono pochodzi (lampa Locatelli'ego, rozżarzona platyna, miedź przy 400°). Spat islandzki przepuszcza 0,39 ciepła z lampy i 0,28 z rozżarzonej platyny; ałun przepuszcza 0,9 ciepła z pierwszej i 0,02 drugiej, lód wreszcie 0,6 ciepła z lampy i 0,005 z platyny.

Doświadczenia te pokazują, że istnieją różne rodzaje ciepła, że np. to, które wysyła słońce nie jest identyczne z ciepłem wysyłanem przez metalową powierzchnię ogrzaną do 200° lub 300°. Nie dość na tem, albowiem ciepło z danego źródła nie jest jednorodne, gdyż składa się z promieni rozmaitego gatunku. Można tego dowieść za pomocą doświadczenia, wykonanego na wzór tego, jakie urządził Newton w celu oddzielenia różnobarwnych

promieni słonecznych. Na drodze wiązki ciepła Melloni umieścił pryzmat *G* z soli kuchennej (fig. 461), która jak wiemy przepuszcza jednakowo wszystkie rodzaje ciepła. To ostatnie przy przejściu przez pryzmat zmienia swój kierunek czyli ulega *załamaniu* i po wyjściu z pryzmatu pada na bardzo wązki stos *P* (fig. 462). Stos jest przymocowany do linii, którą można obracać w około pionowej osi; umieszczany kolejno w różnych miejscach, analogicznych do tego jakie zajmuje w *P*, otrzymuje on za każdym razem jedynie część wiązki promieni cieplnych, rozszczepionych po wyjściu z pryzmatu. Zboczenie igiełki galwanometru daje wtedy miarę natężenia ciepła w rozmaitych punktach wiązki. Jeżeli źródło ciepła jest jednocześnie i świetlne, jak np. lampa Locatelli'ego lub też gdy źródłem tem jest słońce, wtedy otrzymuje się także na ekranie, umieszczonym w pewnej odległości od pryzmatu, barwne widmo słoneczne. Stos wystawiony kolejno na działanie różnych barw wskazuje coraz wyższą temperaturę w miarę przesuwania od fioletu do czerwieni. Po za czerwienią, to jest tam gdzie nie ma już wcale światła, temperatura jest jeszcze wyższa, następnie obniża się i wreszcie w pewnej dość znacznej odległości od czerwieni, igiełka galwanometru wskazuje zero. Gdy zaś dane źródło ciepła nie jest świetlne, jak np. sześcian Lesli'ego, wtedy wiązka promieni cieplnych, która przed dojściem do pryzmatu biegnie w kierunku promienia słonecznego, daje po załamaniu same promienie ciemne.

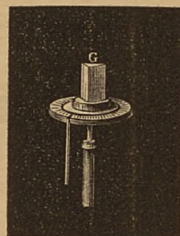


Fig. 461. Pryzmat w doświadczeniu Melloni'ego.

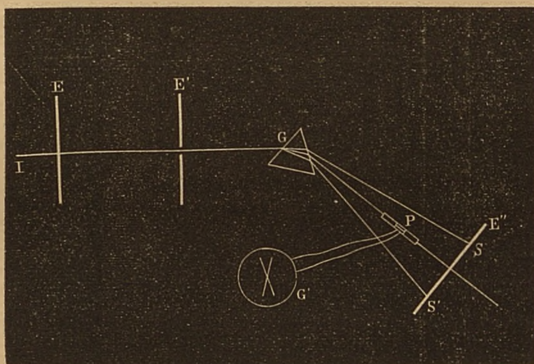


Fig. 462. Doświadczenie Melloni'ego.

Opisane doświadczenie pokazuje, że jak to pierwszy zauważył Herschell, cieplo sloneczne zawiera promienie jasne i promienie ciemne. Różnice pomiędzy niemi polegają jak wiemy na tem, że pierwsze działają na siatkówkę oka i wywołują w niem wrażenie światła, drugie zaś wpływu takiego nie wywierają. Oprócz tego dwa te rodzaje promieni załamują się w tej samej substancyi niejednakowo. Melloni przekonał się, że różne rodzaje promieni cieplnych przechodzą w sposób nader rozmaity przez tę samę tafelkę przecieplającą, zachowują się one w danym razie jak promienie z różnych źródeł ciepła. Tyndall pokazał, że roztwór jodu wsiarku węgla, który wcale nie przepuszcza ciepła świetlnego, począwszy od fioletu aż do czerwieni, przepuszcza doskonale ciepło ciemne. To doprowadziło go do odkrycia nadzwyczaj ciekawego zjawiska. Gdy naczynie napełnione wspomnianym roztworem ustawimy na drodze promieni slonecznych, zebranych w ognisku parabolicznego zwierciadła, zatrzyma ono całą ilość światła tak, że w ognisku nie będzie go wcale; natomiast cieplo jest tutaj bardzo silne, wystarcza bowiem do zapalenia kawałka drzewa.

Ciemne promienie przechodzą w znacznej ilości przez okopconą tafelkę soli kamiennej, podczas gdy całkowicie zostają zatrzymane przez przezroczystą tafelkę ałunu. Przeciwnie promienie świetlne przechodzą obficie przez tafelkę ałunu i zostają zatrzymane przez okopconą sól kamienną. Ciepło słoneczne, składające się z promieni świetlnych i ciemnych przechodzi z łatwością przez tafelkę soli lub ałunu, lecz gdy złożymy dwie te tafelki w jedną, ciepło zostanie przez nią zatrzymane. Albowiem ałun przepuszcza tylko ciepło świetlne, sól zaś tylko ciepło ciemne i dlatego gdy są złożone razem, nie przepuszczają żadnego z tych dwóch rodzajów promieni.

Opisane zjawiska objaśniają wysoką temperaturę, jaką w zimie osiąga wnętrze cieplarni jedynie pod wpływem promieni słonecznych. Sloneczne promienie świetlne przenikają obficie przez szyby cieplarni i ogrzewają ciała w niej umieszczone; ciała te z kolei promieniują ciepło, lecz wysyłają same promienie ciemne, które z trudnością przenikają przez szkło i dlatego po-

zostają wewnątrz, ciepło więc nagromadza się, uchodzi zaś jedynie dzięki przewodnictwu murów. Również i powietrze zawierające parę wodną zatrzymuje w znacznej części promienie ciemne, jak tego dowiódł Tyndall. Warstwa wilgotnego powietrza, trzy metry gruba, zatrzymuje jedną dziesiątą promieni na nią padających. Atmosfera osłabia tedy wpływ jaki na ziemię wywiera promieniowanie słońca, pochłaniając znaczną część ciemnych promieni przezeń wysyłanych, jednocześnie także przeszkadza ona oziębianiu się kuli ziemskiej, zatrzymując ciemne promienie, które ziemia wysyła.

Doświadczenia powyższe są najzupełniej analogiczne do znanych nam doświadczeń nad pochłanianiem światła (patrz str. 522). Patrząc przez tafelkę czerwonego szkła na otaczające przedmioty, przekonywamy się, że ciała czerwone widać prawie tak samo jasno jak bez tafelki, widok innych ciał zaciemnia się, zielone zaś, jak np. liście drzew, wydają się prawie czarne. Naodwrót przy użyciu tafelki z zielonego szkła przedmioty czerwone wydają się ciemne, zielone zaś jaśnieją pełnym blaskiem. Gdy dwie takie różnobarwne tafelki odpowiednio dobrane złożymy w jedną, nie zobaczymy przez nie żadnego przedmiotu. Przedmiot biały, niewidzialny poprzez taką kombinacyę dwóch tafelek, byłby z łatwością widziany po przez każdą z nich oddzielnie.

Analogie te zwróciły pilną uwagę uczonych, którzy zaczęli badać, czy wszystkim zjawiskom świetlnym odpowiadają podobne zjawiska z ciepłem promienistem i obecnie można twierdzić, że istnieje najzupełniejsza równoległość pomiędzy temi dwoma szeregami zjawisk. Czytelnik przekona się o tem z następujących paragrafów.

§ 2. Odbicie, pochłanianie i wysyłanie ciepła promienistego.

Gdy promienie cieplne padają na powierzchnię ciała, wtedy zwykle część ich przenika do jego wnętrza, część zaś powraca czyli ulega *odbiciu.* Prawa odbijania się ciepła możemy poznać bezpośrednio za pomocą opisanego wyżej termometru różnicowego czyli termomultyplikatoru Melloni'ego, do którego dodaje się

małe zwierciadło *MM'* (fig. 463). Zwierciadło to, ustawione pionowo na poziomym krążku *C*, podzielonym na stopnie, może obracać się wokoło pionowej osi *OO'* przechodzącej przez płaszczy-

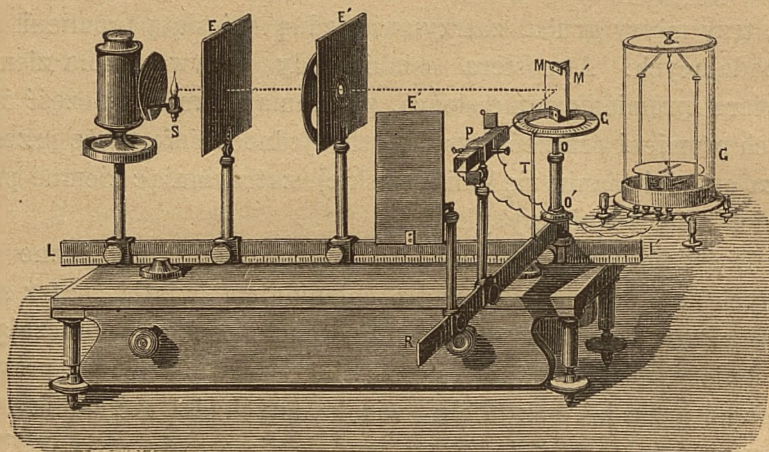


Fig. 463. Odbicie ciepła.

znę zwierciadła oraz przez środek krążka. Ruchoma igiełka wskazuje kierunek prostopadłej do zwierciadła i obraca się wraz z niem; podstawa, na której osadzony jest krążek *C*, podtrzymuje u dołu sztabę *O'R* obracającą się wokoło tej samej osi *O'O* co zwierciadło. Sztaba *O'R* podtrzymuja stos *P*, wskaźnik zaś umieszczony na górnym końcu słupka *T* i przesuwający się wzdłuż podziałek krążka, umożliwia sprowadzenie sztaby tej do żądanego położenia.

Umieśćmy źródło ciepła w *S* i ustawmy stos tak, ażeby oś jego była pozioma; jeżeli środek małego otworu w ekranie *E'* znajduje się na poziomej linii, przechodzącej przez *S* to — po opuszczeniu ekranu *E* — przekonywamy się, że igiełka galwanometru zbacza tylko wtedy, gdy oś stosu leży w poziomej płaszczyźnie, przechodzącej przez źródło ciepła *S*. Dowodzi to, że promień odbity od zwierciadła i ogrzewający zwróconą ku niemu stronę stosu, znajduje się w tej samej płaszczyźnie poziomej, co i promień padający. Innemi słowy *promienie padający i odbity leżą w jednej płaszczyźnie z prostopadłą w punkcie padania do powierzchni odbijającej.*

Znajdujemy dalej, że w tych warunkach zboczenie galwanometru zależy także od położenia sztaby *O'R*. Obracając ją powoli dochodzimy wreszcie do takiego jej położenia, przy którem galwanometr wskazuje maximum odchylenia, co ma miejsce wtedy, gdy stos otrzymuje w całości odbite ciepło. Można przekonać się, że igiełka wskazująca kierunek prostopadłej do zwierciadła w punkcie padania, dzieli kąt pomiędzy promieniem padającym i odbitym na dwie równe części, czyli że *kąt odbicia jest równy kątowi padania*. Wiemy, (patrz str. 428) że takie same prawa rządzą odbijaniem się światła.

Następujące doświadczenie z dwoma sprzężonemi zwierciadłami wykazuje istnienie ogniska głównego, w którem skupiają się promienie cieplne, odbite od wklęsłego zwierciadła oraz potwierdza wyprowadzone wyżej prawa odbijania się ciepła. Dwa wklęsłe zwierciadła *A* i *B* (fig. 464) są umieszczone na odległości

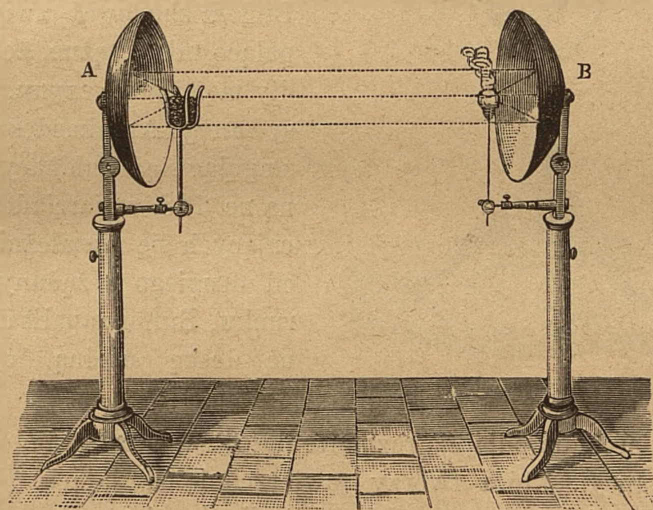


Fig. 464. Odbicie ciepła od wklęsłego zwierciadła.

4 do 5 metrów, w ten sposób, że główne ich osie zlewają się. W głównem ognisku jednego z nich ustawia się druciany koszyczek, napełniony rozpalonemi węglami, w ognisku głównem drugiego — jakieś łatwo palne ciało np. hubkę lub bawełnę strzelniczą. Promienie wysyłane przez węgle odbijają się najprzód od

zwierciadła A, po odbiciu zaś—jeżeli powyższe prawa są słuszne—powinny biedz równolegle do jego głównej osi, następnie po powtórnem odbiciu od zwierciadła B zebrać się w ognisku tegoż. W istocie tak jest, albowiem znajdująca się w tem ognisku hubka zapala się, podczas gdy w innym punkcie zjawisko takie nie ma miejsca.

Promienie słoneczne zebrane w ognisku wklęsłego zwierciadła (fig. 465) tworzą w tem miejscu tak wysoką temperaturę, że można w niej stopić srebro, miedź lub krzem. W roku 1694 we Florencyi spalono dyament w ognisku takiego zwierciadła palącego. Opowiadają, że Archimedes podpalił rzymskie okręty za pomocą podobnych zwierciadeł. Buffon zbudował zwierciadła palące tak potężne, że dowiodły możliwości czynu, przypisywanego Archimedesowi. Posługując się kombinacyą złożoną ze 128 zwierciadeł, obracających się niezależnie jedno od drugiego w żądanym kierunku, Buffon zapalił drewnianą deskę smolną, oddaloną o 68 metrów.

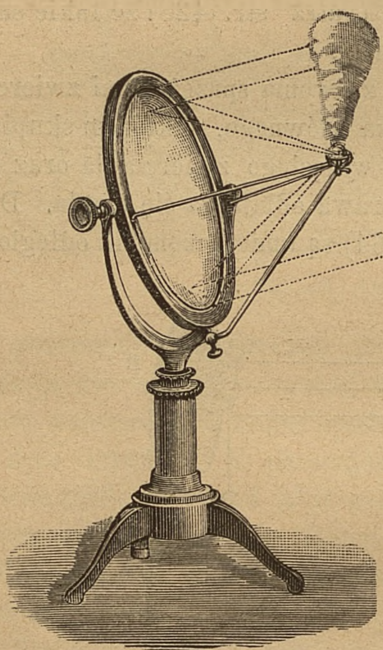


Fig. 465. Zwierciadło palące.

Zwierciadła odbijają rozmaite ilości ciepła, zależnie od natury substancyi, która tworzy powierzchnię odbijającą. Badano tedy te ilości, przyczem *zdolność odbijania* ciepła danego ciała określono jako stosunek ilości ciepła odbitego do ilości ciepła padającego. W tym celu można się posługiwać przyrządem wyżej opisanym (patrz fig. 463). Po ustawieniu źródła ciepła oraz stosu w sposób wymagany przez prawa odbicia, obserwujemy zboczenie igiełki galwanometru. Przypuśćmy, że promienie cieplne, odbite od zwierciadła stalowego np. powodują zboczenie

równe 6°. Wtedy badamy jaki jest wpływ bezpośredniego promieniowania, a mianowicie usuwamy zwierciadło i obracamy sztabę $O'R$ tak, ażeby stanowiła przedłużenie linii LO'. Po opuszczeniu ekranu E ciepło dosięga stosu, przyczem przebywa drogę równą sumie dróg, jakie poprzednio przebył promień padający i odbity, nic się więc pod względem drogi nie zmienia, jedynie odbicie niema miejsca. Jeżeli w tym drugim wypadku zboczenie igiełki wynosi 10°, wtedy stosunek $^6/_{10}$ wyraża zdolność odbijania stali.

Odbijanie zmienia się wraz ze stopniem wypolerowania powierzchni, rodzajem ciepła, oraz nachyleniem promienia padającego na zwierciadło. Polerowanie wywiera wpływ nader znaczny; tak np. srebrna tafelka dobrze wypolerowana może dwa razy lepiej odbijać ciepło aniżeli tafelka wypolerowana niedostatecznie. Co do wpływu rodzaju samego ciepła, to w celu zbadania go Provostaye i Desains mierzyli zdolność odbijania jednej i tej samej substancyi, na którą padały promienie z rozmaitych źródeł ciepła: lampy Locatelli'ego, lampy spirytusowej oraz słońca. Srebro naprzykład odbija 0,92 padających nań cieplnych promieni słonecznych i 0,97 promieni z lampy Locatelli'ego; stal 0,60 promieni słonecznych i 0,83 promieni z lampy. Co do wpływu nachylenia promieni, to wspomnieni uczeni znaleźli np. że odbijanie szkła zmniejsza się wraz ze zmniejszaniem kąta padania, gdy ten ostatni jest równy 80° szkło odbija 0,551 padających nań promieni cieplnych, przy kącie zaś padania równym 20° odbija tylko 0,050. Jamin znalazł cyfry prawie identyczne dla szkła odbijającego promienie świetlne.

Wiemy z poprzedniej księgi, że część światła, padającego na daną powierzchnię, ulega odbiciu we wszystkich kierunkach, czyli zostaje rozproszona (patrz figurę 285, str. 448). W roku 1802 Herschell pokazał, że to samo ma miejsce z ciepłem; następnie Melloni podjął tę kwestyę. Oto doświadczenie, które dowodzi rozpraszania się ciepła przez odbicie: promień słoneczny SI przenika przez otwór w ekranie E' (w przyrządzie Melloniego) i pada prostopadle na tafelkę LL', pokrytą bielą ołowianą (fig. 466, str. 812). Stos P jest zwrócony ku punktowi, na który

pada promień, lecz tworzy z prostopadłą *SI* pewien kąt; pomimo to igiełka galwanometru zbacza, co pokazuje, że promienie cieplne odbijają się nietylko w kierunku prostopadłej lecz także w stronę stosu. Możnaby tutaj zrobić zarzut, że substancya pokrywająca tafelkę ogrzewa się i wysyła ciepło biegnące w kierunku *JP*, czyli, że ciepło to nie jest wcale odbite. Lecz igiełka galwanometru zbacza natychmiast po usunięciu ekranu *E*, to jest zanim jeszcze tafelka zdołała się ogrzać; powtóre gdy przesuwamy stos tak, ażeby był zwrócony ku tylnej powierzchni tafelki, pokrytej sadzą, igiełka stoi prawie nieruchomo naprzeciwko zera, a jednak zdolność wysyłania promieni cieplnych nie jest w sadzy wcale mniejsza, aniżeli w bieli ołowianej.

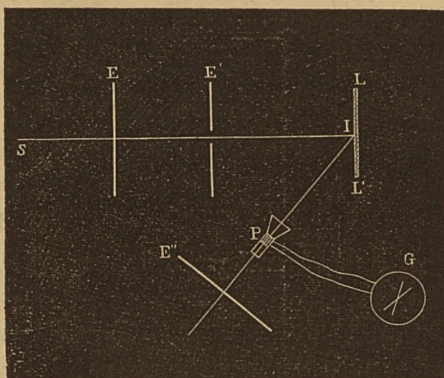


Fig. 466. Rozproszenie ciepła. Doświadczenie Melloni'ego.

Ciała posiadają także własność pochłaniania mniejszej lub większej ilości ciepła. Można mierzyć ich zdolność pochłaniania *absolutną*, to jest stosunek ilości ciepła pochłoniętego do ilości ciepła padającego, albo też zdolność *względną*, to jest stosunek ilości ciepła pochłoniętego przez ciało do ilości, jaką w tych samych warunkach pochłonęłoby inne jakieś ciało, użyte do porównania. Leslie określał względną zdolność pochłanianiania za pomocą termometru różnicowego, którego kulka znajdowała się w ognisku wklęsłego zwierciadła. Kulkę tę pokrywał kolejno sadzą, blaszkami złota, srebra, miedzi i t. p. Temperatura termometru podnosiła się pod wpływem promieni cieplnych, odbitych od zwierciadła i zebranych w ognisku, podwyższenie zaś to było tem znaczniejsze, im więcej ciepła pochłaniała dana substancya, pokrywająca kulkę. W ten sposób Leslie skonstatował, że *pochłanianie jest tem większe, im mniejsze jest odbijanie ciepła.*

Melloni oznaczył zdolność różnych ciał do pochłaniania ciepła względnie do sadzy, używając do tego termomultyplikatoru. Umieszczał on przed stosem cienką blaszkę miedzi; powierzchnia jej zwrócona w stronę stosu była pokryta sadzą, powierzchnia zaś wystawiona na działanie źródła ciepła była powleczona badaną substancyą. Ciepło, które padało na blaszkę, w rozmaitym stopniu ulegało pochłonięciu, zależnie od natury tej substancyi, wskutek czego blaszka niejednakowo promieniowała ciepło w stronę stosu; galwanometr wskazywał wtedy różne zboczenia, zkąd łatwo było porównać pochłanianie rozmaitych ciał. Przyjąwszy, że pochłanianie sadzy jest równe 100, Melloni znalazł, że dla bieli ołowianej wynosi ona również 100, dla kleju rybiego 91, dła metalów 13. W ogóle i Melloni znalazł również, że pochłanianie zmienia się w stosunku odwrotnym do odbijania; innemi słowy, ciało pochłania tem mniej ciepła, im więcej go odbija i naodwrót. Lecz dwie te wartości nie dopełniają się wzajemnie, to znaczy, że suma ciepła odbitego i pochłoniętego nie jest równa ciepłu padającemu, lecz jest od niej mniejsza. Albowiem ciepło padające na daną powierzchnię w istocie dzieli się na trzy części: jedną, która zostaje pochłoniętą i ogrzewa ciało, drugą, która ulega prawidłowemu odbiciu i wreszcie trzecią, która zostaje rozproszoną. Oprócz tego dla niektórych ciał należy jeszcze wziąć pod uwagę pewną ilość ciepła, która przechodzi przez nie, nie ogrzewając ich wcale.

Melloni skonstatował, że pochłanianie zależy także od źródła, z którego ciepło pochodzi. Naprzykład węglan ołowiu pochłania prawie dwa razy więcej ciepła, wysyłanego przez sześcian Lesli'ego ogrzany do 100^0, aniżeli ciepła z lampy. Jedynie sadza pochłania zawsze jednakową ilość ciepła, niezależnie od jego źródła. Pochłanianie zależy także od nachylenia promieni; jest ono największe gdy promienie padają prostopadle do powierzchni i zmniejsza się w miarę ich nachylenia. Jestto jedna z przyczyn, dla których dane miejsce na ziemi ogrzewa się bardziej w lecie, aniżeli w zimie, albowiem w lecie promienie słoneczne padają na nią bardziej prostopadle, aniżeli w zimie.

Ciała wysyłają także czyli promieniują większe lub mniejsze ilości ciepła. I tutaj również Leslie badał rozmaite ciała i oznaczył ich względną zdolność promieniowania. W jednem z ognisk sprzężonych wklęsłego zwieciadła umieścił kulkę termometru różnicowego, w drugiem zaś ognisku ustawił sześcian, którego ściany były utworzone z różnych metali, albo też były pokryte rozmaitemi substancyami, jak sadzą, papierem i t. p. Sześcian napełnił wodą przy 100° i obracał go kolejno tak, ażeby coraz inna ściana zwrócona była ku zwierciadłu; promienie wysyłane przez sześcian zbierały się po odbiciu w ognisku, gdzie znajdowała się kulka i podnosiły temperaturę termometru. Podwyższenie było tem znaczniejsze, im silniej promieniowała dana substancya, obrócona ku zwierciadłu; okazało się, że dla sadzy temperatura podnosiła się bardziej, aniżeli dla każdej innej, powierzchnie zaś metalowe dawały najniższą temperaturę. Na mocy pewnego prawa Newtona, o oziębianiu się cial, Leslie obliczył zdolność promieniowania różnych ciał względnie do sadzy. Oznaczywszy zdolność tę dla sadzy przez 100, znalazł, że dla papieru wynosi ona 98, laku 95, zwyczajnego białego szkła 90, kleju rybiego 80, matowego ołowiu 45, rtęci 20, polerowanego żelaza 15, cyny, złota, srebra i miedzi 12. Musimy dodać w tem miejscu, że wymieniony porządek ciał jest odwrotny porządkowi, w jakim są one ułożone pod względem ich zdolności odbijania ciepła.

Melloni oznaczył zdolność promieniowania, używając również jako źródła ciepła sześcianu napełnionego wodą przy 100°, którego jedna ściana była pokryta sadzą, inne zaś rozmaitemi substancyami. Skierowywał on kolejno na stos termoelektryczny promienie wysyłane przez różne ściany i obserwował odnośne zboczenia galwanometru. Znalazł on liczby prawie zupełnie zgodne z temi, które otrzymał Leslie. Ten ostatni wywnioskował ze swych doświadczeń, że zdolność promieniowania ciała względnie do sadzy, jest zawsze równa jego względnej zdolności pochłaniania, innemi słowy jeżeli ciało wysyła dwa lub trzy razy więcej ciepła, aniżeli sadza, to pochłania go także dwa lub trzy razy więcej od niej. Prawo to przez długi czas uważane było

jako ogólne, lecz Kirchoff znalazł, że wysyłanie i pochłanianie danego ciała nie zmieniają się w jednakowym stosunku, gdy temperatura wzrasta lub gdy zmienia się źródło ciepła. Doświadczenie pokazało, że jeżeli przy porównywaniu zdolności promieniowania i pochłaniania ciepła, temperatura w obu razach jest jednakowa i jeżeli ciepło pochłaniane i wysyłane jest jednakowej natury (ciemne albo świetlne), wtedy prawo Lesli'ego sprawdza się.

Grubość promieniującego ciała zdaje się niekiedy wywierać wpływ na zdolność promieniowania. Melloni naprzykład przekonał się, że przy pokrywaniu werniksem sześcianu metalowego, napełnionego wodą o stałej temperaturze, promieniowanie wzmagało się w miarę powiększania ilości warstw werniksu do 16, poczem niezmieniało się już bez względu na dalsze pokrywanie. Co do metalów to znalazł on, że grubość promieniującej warstwy nie wywiera tutaj wpływu, przynajmniej w granicach, w jakich można ją zmieniać ($^8/_{1000}$, $^4/_{1000}$ i $^2/_{1000}$ milimetra). Promieniowanie zależy także od nachylenia promieni do powierzchni wysyłającej; tak np. dla bieli ołowianej wysyłanie jest równe 100 w kierunku normalnym, przy pochyleniu zaś wynoszącem 80^0 jest równe tylko 66. W tych samym warunkach promieniowanie szkła wynosi 90 i 54. Wreszcie dodajmy, że promieniowanie palących się ciał gazowych jest nader słabe. Pomimo, że temperatura płomienia wodoru jest bardzo wysoka, to jednak powoduje on jedynie słabe zboczenie igiełki w termomultyplikatorze, wystawionym na jego działanie. Lecz gdy w płomieniu takim umieścimy spiralnie skręcony drut platynowy i gdy osiągnie on temperaturę płomienia, wtedy będzie on silnie promieniował. Płomienie lamp i gazu oświetlającego promieniują daleko więcej ciepła, aniżeli płomień wodoru dzięki znajdującym się w nich cząstkom niespalonego węgla, które będąc rozżarzone potęgują promieniowanie ciepła, zarówno jak i światła.

Własność rozmaitych ciał odbijania, pochłaniania i promieniowania większej lub mniejszej ilości ciepła, znalazła liczne zastosowania w życiu codziennem, oraz w sztuce. Wiadomo, że jest korzystnie dla nas, gdy naczynia służące do ogrzewania cieczy, posiadają powierzchnię czarną i matową, albowiem wtedy pochła-

niają one silniej ciepło. Polerowanie powierzchni naczyń zmniejsza pochłanianie i powiększa wydatek na paliwo. Gdy zaś chodzi o podtrzymanie przez długi czas wysokiej temperatury cieczy, wtedy należy ją zawrzeć w naczyniu polerowanem i błyszczącem, jak np. srebrne czajniki, które promieniują słabo i przeszkadzają szybkiemu oziębianiu się cieczy.

Franklin, chcąc się dowiedzieć jaki jest wpływ barwy na pochłanianie, umieścił kilka kawałków sukna, rozmaicie zabarwionych, na śniegu oświeconym przez słońce i obserwował o ile śnieg topił się pod niemi pod wpływem ciepła pochłoniętego. Ponieważ w ogóle ciemne kawałki pogrążały się w śniegu bardziej aniżeli jasne, to Franklin wywnioskował z tego, że ciała jasne pochłaniają mniej ciepła, aniżeli ciemne. Wniosek Franklina, jakkolwiek przetrwał przez długi czas, nie jest jednak słuszny. Tyndall zwraca pod tym względem uwagę, że gdyby świetlne źródła wydawały tylko widzialne promienie, moglibyśmy z barwy danego przedmiotu wnioskować o jego zdolności pochłaniania ich ciepła. Lecz wiemy, że tak nie jest, albowiem większa część promieni ze znanych źródeł na ziemi i dość znaczna część promieni słonecznych jest ciemna, na pochłanianie zaś takich promieni barwa nie wpływa wcale. W celu wyjaśnienia rezultatów głośnego doświadczenia Franklina, które dało powód do wielu błędnych wniosków, Tyndall wykonał kilka doświadczeń. Wziął dwie karty jednakowej wielkości i jednakowego utkania, na jednej rozsypał biały ałunowy proszek, na drugiej ciemny proszek jodowy. Następnie umieścił je przed ogniem i potrzymawszy przez pewien czas przekonał się, że biała karta rozgrzała się, gdy tymczasem czarna pozostała tak zimną jak poprzednio. Kulki dwóch delikatnych rtęciowych termometrów, powleczone jedna ałunem druga jodem wystawił na promieniowanie gazowego płomienia; słup rtęci w termometrze pokrytym ałunem podniósł się dwa razy wyżej, aniżeli w termometrze pokrytym jodem. W niektórych swych doświadczeniach Tyndall rozpuszczał pierwej jod w dwusiarku węgla i roztworem tym powlekał badany przyrząd; roztwór taki po wysuszeniu był czarny jak sadza, a jednak pochłaniał nieskończenie mniej ciepła, aniżeli śnieżno biały proszek ałunu.

Niemożebność tę rozgrzania jodu za pomocą promienistego ciepła Tyndall przypisuje jego nadzwyczajnej przecieplności, która szczególnie uwidocznia się, gdy jod jest rozczyniony w dwusiarku węgla. Ciepło przenika proszek, lecz nie pozostaje między jego cząstkami, gdyż odbija się od ich granicznych powierzchni. Zwykła siarka, nawet pokrajana w cieniutkie plasterki, nie przepuszcza promienistego ciepła, lecz nie należy tego przypisać pochłanianiu, ale powtarzanemu wewnętrznemu odbijaniu. Temperatura, w której siarka płonie, jest równa 244^0 *C.* pomimo to, jeżeli kawałek siarki umieścimy w ognisku ciemnych promieni, którego temperatura jest tak wysoka, że blaszka platynowa natychmiast rozpala się w niej do białości, siarka długi czas przetrwa zanim stopnieje i spłonie. Cukier nie tak łatwo rozpala się jak siarka, lecz lepiej od niej pochłania; umieszczony w ognisku natychmiast topnieje i płonie. Należy także zauważyć, że ciepło, które wystarcza do stopienia i spalenia cukru, zaledwie może ogrzać sól kuchenną, pomimo, iż ona jest również biała. Punkt topliwości fosforu jest równy 44^0, cukru zaś około 160^0, niemniej przeto w ciemnem ognisku elektrycznej lampy cukier topi się prędzej, niż fosfor. Zjawisko to należy przypisać wielkiej przecieplności fosforu, cienki bowiem plasterek tego ciała, umieszczony pomiędzy dwiema tafelkami soli kamiennej, przepuszcza znaczną ilość ciemnych promieni.

Ciało tem mniej ogrzewa się od promienistego ciepła, im jest bardziej przecieplne, podobnie jak każde zupełnie przezroczyste ciało nie ogrzewa się od świetlnych promieni. Jeżeli drewniane naczynie powleczemy grubą warstwą szronu i ustawimy w ognisku potężnego zwierciadła, w którem zebrały się promienie elektrycznej lampy, poprzednio przepuszczone przez wodę, to drzewo wprzód się zapali, nim szron stopnieć zdoła, a to dlatego, że woda wywiera potężny pochłaniający wpływ na ciemne promienie. Rezultat tego doświadczenia pozwala twierdzić, że nie świetlne, lecz ciemne promienie słoneczne stapiają śniegi zimowe na stokach gór alpejskich.

W końcu pozwolimy sobie jeszcze przytoczyć następujący

ustęp z dzieła Tyndalla [1]), dotyczący wpływu barw na promieniowanie ciał: „Często zapewne słyszeliście o wpływie kolorów na promieniowanie, przytem nieraz pewno obiły się o wasze uszy i takie twierdzenia, których doświadczenie wcale nie potwierdza. Aby się o tem przekonać wykonam tu parę prób. Znany nam sześcian metalowy napełniam gorącą wodą. Jedną jego ścianę pobielam kredą, drugą powlekam karminem, trzecią kopciem lampy, a czwartą pozostawiam nietkniętą. Zbliżam nieco stos do sześcianu i wystawiam go najprzód na promieniowanie powierzchni czarnej, igła zbacza i zatrzymuje się przy 65^0. Obracam sześcian powierzchnią białą do stosu: igła nie rusza się, co dowodzi, że promieniowanie powierzchni białej jest równie obfite, jak i promieniowanie czarnej. Obracam z kolei czerwoną powierzchnię do stosu, a igła nie rusza się wcale. Nakoniec wystawiam stos na promieniowanie ściany nietkniętej: igła wraca i zbliża się do 0^0, co pokazuje jak słabo promieniuje powierzchnia metalowa. Powtarzam to samo z drugim sześcianem, którego trzy ściany pokryłem aksamitem czarnym, białym i czerwonym. Rezultat otrzymuję ten sam co poprzednio: trzy powierzchnie aksamitne, chociaż różnobarwne, promieniują jednakowo, gdy tymczasem powierzchnia niepokryta promieniuje znacznie słabiej. Doświadczenia te pokazują, że promieniowanie naszych sukien nie zależy od ich barwy; również żadnego wpływu na promieniowanie nie wywiera barwa uwłosienia zwierząt."

§ 3. Identyczność światła i ciepła promienistego.

Fakty przytoczone w dwóch poprzednich paragrafach dowodzą tak wielkiego podobieństwa w zachowaniu się promieni ciepła i światła, że z konieczności nasuwa się przypuszczenie, iż ciepło promieniste, podobnie jak światło, polega na falowym ruchu eteru, wypełniającego wszechświat. Jeżeli przypuszczenie to jest słuszne, to promienie cieplne powinny także ulegać zjawiskom, wymaganym przez teoryę falowania i dla światła dowiedzionym na

---

[1]) Tyndall, Ciepło jako rodzaj ruchu, tłom. L. Masłowski.

drodze doświadczalnej. Promienie cieplne powinny interferować ze sobą, czyli innemi słowy muszą zachodzić wypadki, gdzie ciepło dodane do ciepła nie powoduje działań, właściwych temu czynnikowi. Ciepło powinno również uginać się w tych samych warunkach co światło. Otóż interferencya i uginanie się ciepła zostały stwierdzone na drodze doświadczalnej.

Fizeau i Foucault pierwsi dowiedli interferencyi ciepła za pomocą doświadczenia analogicznego do doświadczenia Fresnel'a z dwoma zwierciadłami. Używany przez nich do tego termoskop był to termometr alkoholowy, którego zbiornik miał w średnicy tylko 1,1 milim., lecz którego rurka była tak cienka, że jeden stopień (skali stustopniowej) posiadał długość 8 milimetrów. Ruch słupa alkoholowego w rurce obserwowano przez mikroskop, który pozwalał dostrzegać zmianę w temperaturze, wynoszącą $^1/_{400}$ stopnia. Za pomocą dwóch zwierciadeł otrzymali oni prążki interferencyjne, które dzięki bardzo lekkiemu nachylaniu zwierciadeł uczynili tak szerokiemi, że zbiornik termometru zajmował tylko ćwierć środkowego, jasnego prążka. Okazało się, że temperatura w środkowym, jasnym prążku była wyższa, aniżeli w bocznych, ciemnych prążkach, leżących po obu jego stronach: w pierwszym mianowicie termometr podczas jednej obserwacyi wskazywał podwyższenie temperatury równe 35,9 (wyrażone w $^1/_{400}$ stopnia), w ostatnich zaś podwyższenie to wynosiło tylko 20.

Uginanie się ciepła pierwszy obserwował Knoblauch. Przepuszczał on promienie słoneczne przez pionową szczelinę, którą można było dowolnie zwężać lub rozszerzać, przez rozpościerającą się zaś poza szczeliną wiązkę promieni przesuwał stos termoelektryczny. Doświadczenia takie pokazały, że wiązka ciepła była zawsze szersza, aniżeli wymaga tego prostolinijne rozchodzenie się ciepła czyli że miało miejsce uginanie się tego ostatniego. Zgodnie z prawem uginania, o którem wspomnieliśmy w optyce, rozszerzenie wiązki promieni było tem znaczniejsze, im węższa była szczelina. Wreszcie Seebeck wykazał, że za pomocą siatki można również otrzymać cieplne widmo dyffrakcyjne.

Interferencya i uginanie się ciepła dowodzą, że ciepło promieniste, podobnie jak światło, polega na ruchu falowym. Zachodzi tedy pytanie, czy drgania cieplne są podłużne, czy też — jak w świetle — poprzeczne. Widzieliśmy w optyce, że jedynie zjawiska polaryzacyi światła zdołały rozwiązać kwestyę jakości drgań świetlnych, pytanie więc o jakości drgań cieplnych wiąże się z innem, a mianowicie czy ciepło może być spolaryzowane lub nie. Wiemy, że istnieją trzy metody polaryzowania światła, a mianowicie odbicie od przezroczystego środka, zwykłe załamanie i podwójne załamanie. Otóż trzy te metody zostały przez rozmaitych fizyków zastosowane do badań nad ciepłem promienistem i wszystkie trzy pozwoliły ciepło to spolaryzować.

Pierwszy Bérard spolaryzował ciepło przez odbicie. W tym celu ustawił on dwa szklane nieamalgamowane zwierciadła tak, jak do polaryzacyi światła, dla wzmocnienia zaś działania promieni cieplnych, powtórnie odbitych, zebrał je za pomocą wklęsłego metalowego zwierciadła, w ognisku którego znajdowała się kulka powietrznego termometru. Natężenie promieni odbitych od drugiego szklanego zwierciadła było niezaprzeczenie większe, gdy płaszczyzny odbicia obu zwierciadeł były równoległe, aniżeli wtedy gdy były skrzyżowane. Następnie Knoblauch, De la Provostaye i Desains wykazali najzupełniejszą zgodność zjawisk polaryzacyi przez odbicie dla światła i ciepła. Widzieliśmy w optyce, że ilość spolaryzowanego światła zależy od kąta padania: przy pewnym kącie (zwanym *kątem polaryzacyi*) jest ona największa i polaryzacya jest wtedy prawie zupełna. Jeżeli od tej granicy kąt padania powiększa się albo zmniejsza, wtedy światło odbite jest tylko częściowo spolaryzowane i to tem mniej, im bardziej kąt padania różni się od kąta polaryzacyi (patrz str. 599). Doświadczenia pokazały, że to samo stosuje się do ciepła promienistego, nawet kąt polaryzacyi przez odbicie od szkła jest prawie jednakowy dla światła i ciepła.

Światło można także spolaryzować przez zwykłe załamanie (patrz str. 602). Drgania w ten sposób spolaryzowanych promieni odbywają się w kierunku prostopadłym do kierunku drgań światła spolaryzowanego przez odbicie. Otóż Melloni i wielu

innych uczonych wykazało, że i ciepło w zwykły sposób załamane, jest spolaryzowane i że jeden i ten sam rachunek pozwala obliczyć ilość spolaryzowanych promieni w załamanem świetle albo cieple.

Jeżeli przypomnimy sobie fizyczną przyczynę podwójnego załamania światła oraz jeżeli zważymy, że ciepło promieniste ulega polaryzacyi przez odbicie i zwykłe załamanie, to z konieczności nasuwa nam się wniosek, że w podwójnie załamujących kryształach wiązka ciepła również powinna załamać się podwójnie, a więc rozpaść się na dwie spolaryzowane wiązki. Że tak jest w istocie dowiódł tego pierwszy Forbes, który pokazał, że tafelka turmalinowa polaryzuje ciepło. Sądził on jednak, że istnieje zasadnicza różnica pomiędzy światłem i ciepłem pod tym względem, że nie wszystkie promienie cieplne mogą być spolaryzowane, albo że turmalin w rozmaitym stopniu polaryzuje promienie cieplne, pochodzące z różnych źródeł. Lecz Melloni po dokładniejszem zbadaniu kwestyi przekonał się, że różnicy takiej niema, że właściwie zależy ona od szczególnych pochłaniających własności turmalinu.

Następnie Knoblauch dowiódł bezpośrednio podwójnego załamania. Przepuścił on słoneczne promienie, odbite od heliostatu, przez romboedr spatu wapiennego i otrzymał dwie oddzielne wiązki promieni. Gdy w tyle poza spatem przesuwał on przez nie stos termoelektryczny, przekonał się o istnieniu dwóch ciepłych przestrzeni, oddzielonych jedna od drugiej przestrzenią zimniejszą. Zboczenia igły galwanometru wskazywały, że obydwie wiązki promieni cieplnych posiadają jednakowe natężenie, podobnie jak wiązki promieni świetlnych. Oprócz tego przy obracaniu kryształu naokoło padających promieni, wiązka nadzwyczajnie załamana z równą szybkością obracała się wokoło wiązki zwyczajnie załamanej. Wreszcie wiązka nadzwyczajna była spolaryzowana prostopadle do wiązki zwyczajnej, ta ostatnia zaś była spolaryzowana w płaszczyźnie głównego przecięcia kryształu. W ogóle tedy podwójne załamanie ciepła okazało się zupełnie analogicznem do podwójnego załamania światła.

Gdy więc doświadczenia nad interferencyą i uginaniem się ciepła promienistego dowiodły, że należy je uważać za ruch falowy, doświadczenia zaś nad polaryzacyą i podwójnem załamaniem pokazały, że i drgania cieplne są poprzeczne, czyli że odbywają się w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku promienia, wtedy stało się jasnem, że *ciepło promieniste i światło są w gruncie rzeczy jednem i tem samem, albowiem oba polegają na poprzecznych drganiach eteru.*

W cieple słonecznem istnieją promienie cieplne o bardzo rozmaitej łamliwości, które po przejściu przez pryzmat również rozszczepiają się i dają widmo. Pomiędzy promieniami cieplnemi znajduje się wiele takich, które odznaczają się zupełnie taką samą łamliwością, jak pewne grupy promieni świetlnych, gdyż słoneczne widmo cieplne, które rozpoczyna się w ciemnej przestrzeni, a mianowicie przed czerwienią, ciągnie się aż do błękitu, a nawet do samej prawie granicy widma świetlnego. Dalej doświadczenia Jamina, Massona, Franza pokazały, że cieplne działania promieni jasnych nie dają się oddzielić od ich działań świetlnych oraz, że jasne promienie cieplne mogą bez znacznego osłabienia przechodzić przez bezbarwne przezroczyste ciała. Wreszcie ciepło, towarzyszące pojedyńczym barwnym grupom promieni słonecznych, ulega w barwnych środkach takiemu samemu osłabieniu, jak światło. Jednem słowem w jasnych promieniach światło i ciepło nie mogą być oddzielone.

Wszystko to pozwala nam wnosić, że światło i ciepło promieniste są wogóle identyczne, że przy jasnem cieple jedne i te same drgania napotkawszy siatkówkę oka, wywołują wrażenie światła, napotkawszy zaś zakończenia nerwów w skórze powodują wrażenie ciepła. Podobnie jak różnobarwne promienie świetlne różnią się pod względem czasu trwania jednej oscylacyi, albo długości fali, tak też to samo ma miejsce dla rozmaitych cieplnych promieni. Długość fali dla promieni ciemnych najmniej łamliwych jest największa, długość zaś fali dla jasnych promieni cieplnych najbardziej łamliwych, jest najmniejsza. Wiemy także, że natężenie światła zależy od wielkości amplitudy (patrz str. 557); to samo stosuje się do natężenia ciepła.

Powtarzamy tedy raz jeszcze, że światło i ciepło promieniste stanowią tylko różne przejawy jednej i tej samej przyczyny i to jedynie o tyle różne, że gdy napotykają rozmaite zakończenia naszego układu nerwowego, wtedy wywołują w nas niejednakowe wrażenia.

§ 4. Przewodnictwo ciepła.

Rozchodzenie się ciepła drogą przewodnictwa pod tym względem różni się od jego rozprzestrzeniania się drogą promieniowania, że w pierwszym razie ciepło znacznie wolniej przechodzi od cząstki do cząstki wewnątrz ciała, dopóki rozmaite części tego ostatniego posiadają niejednakową temperaturę. Gdy ogrzewamy jeden koniec pręta metalowego, drugi jego koniec osiąga wyższą temperaturę dopiero po upływie pewnego, mniej lub więcej długiego czasu, zależnie od metalu i grubości pręta. Podwyższenie temperatury jest oprócz tego rozmaite w prętach z różnego materyału; gdy jeden koniec pręta metalowego, mającego długość 0,3 metra, jest rozżarzony, drugiego jego końca nie możemy dotykać się bezkarnie, taki sam zaś pręt drewniany lub szklany może być na jednym końcu ogrzewany nader silnie wtedy, gdy drugi koniec swobodnie trzymamy w ręku. Następujące proste doświadczenie pokazuje, że w rozmaitych metalach ciepło rozchodzi się z niejednakową prędkością. Do dwóch prętów jednakowych wymiarów, jednego miedzianego, drugiego żelaznego, przylepiamy za pomocą wosku kulki drewniane w jednakowych odstępach, następnie zawieszamy je obok siebie i ogrzewamy nad lampką spirytusową (fig. 467). Pod wpływem ciepła, rozchodzącego się w prętach, wosk się topi i kulki drewniane odpadają jedna po drugiej, spostrzegamy

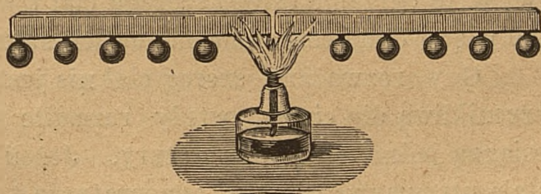


Fig. 467. Niejednakowe przewodnictwo ciepła miedzi i żelaza.

jednak po pewnym czasie, że od pręta miedzianego odpadło ich więcej niż od żelaznego, czyli że kulki jednakowo oddalone od ogrzanych miejsc wcześniej odpadają od miedzi niż od żelaza. Jeżeli pręty są dość długie, to ostatnie kulki wcale nie odpadną, albowiem ciepło nie dochodzi do końca w takim stopniu, ażeby wosk na nich stopił się, w każdym jednak razie przekonywamy się, że w miedzi rozchodzi się ono dalej, niż w żelazie. Powiadamy tedy, że miedź jest *lepszym przewodnikiem* ciepła, niż żelazo.

Na pierwszy rzut oka zachowanie się ciepła podczas rozchodzenia się drogą przewodnictwa jest zupełnie inne, aniżeli podczas promieniowania, albowiem gdy promienie cieplne rozchodzą się zawsze z niezmierną prędkością, to ciepło przy przewodnictwie sunie o wiele wolniej i w różnych wypadkach z niejednakową prędkością. Lecz na mocy hypotez o pochłanianiu ciepła możemy sobie wytworzyć pojęcie o jego rozchodzeniu się drogą przewodnictwa, które jaknajściślej łączy się z promieniowaniem.

Wyobraźmy sobie szereg ciał nieprzecieplnych, ułożonych w jednakowych odstępach i otoczonych powłoką nieprzenikliwą dla ciepła. Jeżeli pierwsze z tych ciał zostanie ogrzane, pocznie ono wysyłać ciepło ku drugiemu ciału, to zaś jako nieprzecieplne będzie pochłaniać wszystkie promienie, których nie odbije i pocznie stopniowo się ogrzewać, gdy jego temperatura będzie wyższa od temperatury trzeciego ciała, zacznie ono promieniować ku niemu tak, że i to trzecie ciało stopniowo będzie się ogrzewać i tak dalej, dopóki cały szereg nie osiągnie tej samej temperatury. Ponieważ każde następne ciało poczyna ogrzewać się dopiero wtedy, gdy poprzednie już się ogrzało wskutek pochłoniętego ciepła, to ogrzanie całego szeregu ciał trwa przez pewien mniej lub więcej długi czas, zależnie od ich natury.

Gdy rozważany szereg ciał nie jest otoczony powłoką nieprzenikliwą dla ciepła, wtedy rozmaite jego punkty nigdy nie osiągną jednakowej temperatury. Jeżeli np. pierwsze ciało jest stale utrzymywane przy temperaturze t, to z chwilą gdy drugie ciało osiągnie temperaturę, wyższą od temperatury otoczenia, pocznie ono wysyłać ciepło nietylko ku trzeciemu ciału, lecz tak-

że ku swemu otoczeniu. Maximalną tedy temperaturę drugie ciało osiąga wtedy, gdy ilość ciepła wysyłanego przezeń w ciągu określonego czasu staje się równą ilości ciepła, otrzymanego przezeń w tym samym czasie od pierwszego ciała, temperatura zaś jego będzie niższa o pewną wartość od temperatury tego ostatniego. Tak samo maximalna temperatura trzeciego ciała będzie niższa niż drugiego i w ogóle musi ona być coraz niższa dla następujących po sobie ciał. Sposób w jaki temperatura całego szeregu ciał zmniejsza się, zależy od prędkości, z jaką pojedyńcze ciała się ogrzewają oraz od tej ilości ciepła, jaką one oddają swemu otoczeniu.

Jeżeli obecnie wyobrazimy sobie nie szereg oddzielnych ciał, lecz jedno ciało, składające się z wielu cząstek, to nie trudno już nam będzie zrozumieć, w jaki sposób ciało to przewodzi ciepło. Możemy np. uprzytomnić sobie pręt, jako szereg równoległych warstw, utworzonych z oddzielnych cząstek. Przy ogrzewaniu jednego końca pręta znajdujące się tutaj cząstki osiągają wyższą temperaturę i promieniują ciepło ku następnym cząstkom. Ponieważ ciało pochłania przeważnie te promienie, które wysyła, to cząstki owe pochłoną otrzymane ciepło, ogrzeją się i będą z kolei wysyłały cieplo ku warstwom dalej leżącym. W taki sposób ciepło będzie się rozchodziło w pręcie szybciej lub wolniej, zależnie od prędkości, z jaką cząsteczki się ogrzewają, a więc zależnie od natury samego pręta. Jeżeli pręt jest otoczony powłoką zupełnie nieprzenikliwą dla ciepła, to w końcu temperatura jego we wszystkich punktach stanie się jednakową i stateczny rozkład ciepła będzie osiągnięty. Lecz gdy pręt na drugim swym końcu albo na całej długości styka się ze środkiem zimniejszym albo przenikliwym dla ciepła, wtedy temperatura nigdy nie będzie jednakowa we wszystkich punktach, lecz będzie się zmniejszała w miarę oddalenia od ogrzanego końca. Stateczny rozkład ciepła nastąpi wtedy, gdy każda warstwa będzie oddawała następnej warstwie oraz otoczeniu tyle ciepła, wiele go w tym samym czasie otrzymuje od warstwy poprzedniej.

Matematyczne badanie przewodnictwa ciepła polega na obliczeniu tej ilości ciepła, jaka przechodzi przez przecięcie ciała

oznaczonej wielkości, jaka ulega w niem pochłonięciu i jaka znów dalej zostaje oddaną. Zadaniem zaś fizyki jest określenie pewnych stałych wartości, które wchodzą w ten rachunek, a mianowicie tak zwanych spółczynników przewodnictwa wewnętrznego i zewnętrznego. Poisson, Fourier, Biot rozwiązali wiele odnośnych zagadnień. Fourier np. wyszedł z założenia, że przewodnictwo ciepła zachowuje się, jak przepływanie cieczy lub gazu z miejsca większej do miejsca mniejszej prężności tak, że rozchodzenie się ciepła w pręcie, na jednym końcu ogrzewanym, można porównać do przepływania gazu przez rurę, do której się gaz ten wtłacza. Większemu ciśnieniu po jednej stronie odpowiada wyższa temperatura pręta na jednym końcu. Stosownie do tego założenia Fourier starał się rozwiązać zagadnienie, przyczem przyjmował, że ilość ciepła, jaką dany element jakiegoś ciała oddaje sąsiednim, jest proporcyonalna do różnicy temperatur elementów. Przypuszczenie to jest słuszne w obec prawa oziębiania się ciał, które brzmi, że dla małych różnic ich temperatur oddawanie ciepła jest proporcyonalne do tychże różnic, albowiem przy przewodnictwie ciepło przechodzi z cząstki na następną cząstkę, a w każdym razie różnica temperatur sąsiednich cząstek może być tylko nader małą.

Wyobraźmy sobie pręt, mający długość l i przecięcie q; jeden jego koniec posiada temperaturę t, drugi zaś temperaturę t'. Jeżeli cały pręt, wyjąwszy na obu końcach, jest otoczony powłoką nieprzenikliwą dla ciepła, to stateczny rozkład ciepła w pręcie następuje wtedy, gdy przez każde jego przecięcie w jednakowym czasie przepływają jednakowe ilości ciepła. Wynika z tego, że różnica temperatur dwóch następujących po sobie warstw pręta, a także i warstw w jednakowych od siebie odległościach położonych, jest stała, czyli że temperatura maleje w postępie arytmetycznym, gdy odległości od ogrzanego końca pręta powiększają się w takim postępie. Jeżeli więc różnicę temperatur dwóch warstw, położonych w odległości równej jedności, oznaczymy przez a, to ponieważ różnica temperatur obu końców pręta wynosi $t - t'$ odległość zaś pomiędzy warstwami początkową i końcową pręta jest równa l, to mamy $t - t' = a \times l$ czyli, że

$a = \frac{t - t'}{l}$. Niechaj k oznacza ilość ciepła, jaka w jednostce czasu przepływa przez jednostkę przecięcia ciała, jeżeli warstwy, położone w odległości równej jedności, mają temperaturę różną o 1°. W takim razie ilość ciepła, przepływająca w jednostce czasu przez każde przecięcie pręta, jest oczywiście równa $k \times q \times a$. Tak określona ilość k zowie się *spółczynnikiem wewnętrznego przewodnictwa* substancyi pręta. Jeżeli zaś pręt nie jest otoczony powłoką nieprzenikliwą dla ciepła, jeżeli np. znajduje się w powietrzu, to rozkład ciepła inaczej się przedstawia. Niech h oznacza ilość ciepła, jaką jednostka powierzchni ciała w jednostce czasu oddaje na zewnątrz, jeżeli różnica temperatury powierzchni i otoczenia jest równa 1°. Wynika z tego, że warstwa, której powierzchnia jest równa p, a różnica temperatury względem otoczenia jest równa t, oddaje w jednostce czasu na zewnątrz ilość ciepła $h \times p \times t$. Ilość h nazywa się *spółczynnikiem przewodnictwa zewnętrznego.*

Na podstawie podobnych zasad Biot znalazł, że pomiędzy temperaturą t przecięcia, a odległością jego od miejsca ogrzanego zachodzi związek, który można ująć w formułę matematyczną. Związek ten wskazuje np., iż w pręcie o tyle długim, że stan ciepłoty na drugim końcu nie różni się od stanu otoczenia, równego dajmy na to 0°, temperatura maleje w postępie geometrycznym, gdy odległości od źródła ciepła rosną w postępie arytmetycznym. Ten wynik teoryi przewodnictwa ciepła Biot stwierdził kilkakrotnie na drodze doświadczalnej. Brał on długie, bardzo cienkie, pręty metalowe, jeden koniec których ogrzewał nad lampą (fig. 468, str. 828). Ażeby uniknąć promieniowania lampy ku prętom, te ostatnie tuż przed źródłem ciepła przesuwano przez otwór w ekranie. W prętach wyżłobione były w równych odległościach niewielkie zagłębienia, w których mieściły się zbiorniki małych, czułych termometrów, wskazujących temperatury odnośnych przecięć pręta. W zagłębieniach znajdowała się rtęć tak, że zbiorniki termometrów całkowicie w niej były zanurzone, przez co wskazówki ich były dokładniejsze. Podczas obserwacyi starano się ogrzewany koniec pręta utrzymać przy stałej temperaturze, dopóki wszystkie termometry nie

doszły do stanu równowagi, to jest dopóki w pręcie nie nastąpił stateczny rozkład ciepła. Pręty były tak długie, że drugi ich koniec nie wskazywał wcale podwyższenia temperatury.

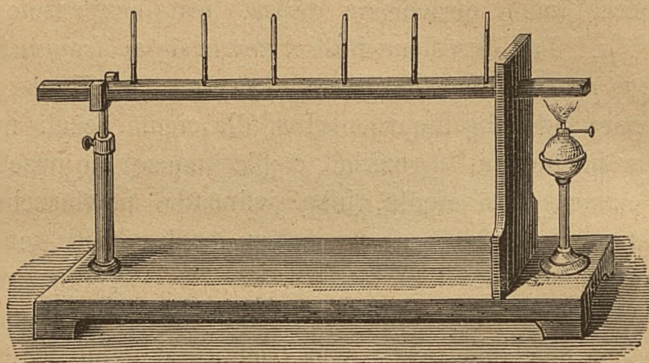
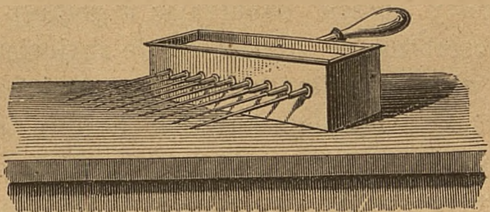


Fig. 468. Doświadczenie Biot'a.

Powiedzieliśmy wyżej, że chcąc określić zdolność przewodnictwa rozmaitych substancyj, należy oznaczyć spółczynniki przewodnictwa wewnętrznego i zewnętrznego, to jest znaleść wartości k i h. Co do ostatniego, to można go oznaczyć na zasadzie szybkości oziębiania się danego ciała, która pokazuje, o wiele stopni obniżyłaby się w jednostce czasu temperatura jego, gdyby oziębienie było proporcyonalne do czasu. Podług tego, ilość ciepła, oddana w jednostce czasu przez ciało przy stałej temperaturze, jest równa iloczynowi z wagi p tego ciała, jego ciepła właściwego c i szybkości oziębiania się v. Chcąc tedy np. oznaczyć zewnętrzne przewodnictwo jakiej substancyi w powietrzu lub w cieczy, należałoby pozwolić ażeby termometr, pokryty tą substancyą, oziębiał się w powietrzu lub w cieczy. Spółczynnik przewodnictwa zewnętrznego nie jest stały, zmienia się bowiem wraz ze zmianą natury środka, otaczającego ciało, czyli że w każdym oddzielnym wypadku wartość jego zależy od warunków doświadczenia.

Co do przewodnictwa wewnętrznego, to Fourier oraz Peclet oznaczali takowe przez obserwowanie ilości ciepła, jaka w danym czasie przechodzi przez taflę metalową oznaczonej grubości,

której ściany boczne utrzymywane są przy określonej temperaturze. Inna metoda porównywania przewodnictwa ciał stałych urzeczywistniona została przez Ingenhousa. W ścianie skrzynki metalowej (fig. 469), napełnionej wrzącą wodą, osadzone są pręty z rozmaitych substancyj, powleczone woskiem. Gdy równowaga ciepła jest osiągnięta, jedne końce tych prętów mają temperaturę 100°, drugie zaś — jeżeli pręty są dostatecznie długie — posiadają temperaturę otoczenia. Wosk pokrywający pręty topi się na nich do rozmaitych punktów, położonych w odległościach l, l' l'' od skrzyni; oczywiście że punkty te mają jednakową temperaturę t. Przewodnictwo zewnętrzne wszystkich prętów jest jednakowe, gdyż wszystkie powleczone są woskiem, oprócz tego przyjmujemy, że mają jednakowe przecięcia i obwody. W tych warunkach oraz na zasadzie wspomnianego wyżej związku pomiędzy temperaturą danego punktu pręta i jego odległością od miejsca ogrzanego, *zdolności przewodnictwa dwóch prętów są w stosunku odwrotnym do kwadratów z odległości od miejsc ogrzanych tych przecięć, które mają jednakowe temperatury.* Według takiej zasady postępował i Despretz, którego metoda podobna była do wyżej opisanego doświadczenia Biota, a także Langberg, Wiedeman i Franz, którzy temperaturę w różnych miejscach pręta oznaczali za pomocą małego stosu termo-elektrycznego. Z doświadczeń podobnych okazuje się, że jeżeli przewodnictwo srebra oznaczymy przez 1000, to dla miedzi wyraża się ono liczbą 736, złota 532, mosiądzu 236, cynku 190, cyny 145, żelaza 119, stali 116, ołowiu 85, platyny 84, palladiumu 63, bizmutu 18.


Fig. 469. Przyrząd Ingenhousa do mierzenia przewodnictwa ciał stałych.

Z ciał stałych metale, za wyjątkiem bizmutu, stanowią najlepsze przewodniki ciepła; kamienie, szkło, marmur, przewodzą je gorzej, lecz po nich dopiero następuje drzewo, węgiel drze-

wny, przygotowany przy nizkiej temperaturze i w ogóle substancye organiczne, mięsiste owoce, tłuszczowe tkanki zwierzęce i roślinne. Z powyższego zestawienia cyfr widzimy, jaka istnieje różnica w zdolności przewodnictwa pojedyńczych nawet metali. Różnicę tę, powiada Tyndall, można uwidocznić w bardzo prosty sposób, zanurzając w gorącej wodzie łyżkę srebrną i nowosrebrną; po krótkim czasie znajdziemy, że łyżka srebrna jest o wiele cieplejsza, aniżeli nowosrebrna. Jeżeli na rękojeściach łyżek umieścimy kawałek fosforu, to wkrótce stopi się on i zapali na srebrze, podczas gdy ciepło, rozchodzące się w nowem srebrze, nigdy nie dochodzi do takiego natężenia, ażeby zdołało zapalić fosfor. Zależy to oczywiście od niejednakowej zdolności przewodnictwa obu metali, która dla srebra wynosi 1000, dla nowego srebra tylko 60.

Ciała, mającc wszędzie jednakową budowę cząsteczkową, jednakowo przewodzą ciepło we wszystkich kierunkach. Gdy ogrzewamy środek tafelki z takiej substancyi, punkty izotermiczne, to jest takie, które jednocześnie wskazują jedno i to samo podwyższenie temperatury, stanowią koło; gdy ogrzewamy ciała takie od wnętrza, punkty izotermiczne leżą na kuli. Inaczej podług doświadczeń Senarmont'a zachowują się kryształy, w których zdolność przewodnictwa jest w ogóle różna w rozmaitych kierunkach.

W celu zbadania zdolności przewodnictwa róznych kryształów Senarmont wycinał z nich cienkie, po większej części okrągłe tafelki jednakowej wszędzie grubości. Przecięcia te z rozmaitych okazów tego samego kryształu były równoległe do osi głównej lub do osi pobocznych, albo też w kryształach bez osi głównej równoległe do różnych osi krystalograficznych. Pośrodku tafelek znajdował się otwór, przez który przechodziła srebrna rurka, ogrzewana za pomocą lampy. Oprócz tego tafelki powlekano cienką, jednostajną warstwą białego wosku, który topiąc się, wskazywał graficznie rozchodzenie się ciepła i kreślił na tafelce linie izotermiczne. Wosk mianowicie tworzy na granicy topienia małe wzniesienie, które pozostaje nawet po oziębieniu i które pozwala z dostateczną dokładnością mierzyć w ró-

żnych kierunkach odległości od środkowego punktu miejsc jednakowo ogrzanych.

Podobne doświadczenia z tafelkami, wyciętemi ze szkła lub z kryształów, należących do prawidłowego systemu, pokazały, że tutaj linia izotermiczna, jak tego należało oczekiwać, stanowi koło, środek którego znajduje się w punkcie ogrzewanym. Wynika z tego, że dla tych kryształów powierzchnia izotermiczna jest kulą. W kryształach należących do innych systemów zjawiska w ogóle są inne. Wprawdzie w tafelkach wyciętych z kryształów drugiego lub trzeciego systemu, prostopadle do głównej osi krystalograficznej, linie izotermiczne stanowią koła, lecz gdy płaszczyzna przecięcia jest pochylona do osi, linie te stają się elipsoidalnemi i tembardziej zbliżają się do elipsy, im dane przecięcie jest bardziej równoległe do osi. Figura 470 przedstawia dwie tafelki kwarcu: jedną wyciętą równolegle do osi głównej, drugą zaś wyciętą prostopadle do niej. Widzimy, że na tej ostatniej miejsce na którem wosk się stopił przedstawia krążek, podczas gdy na drugiej tafelce ma ono kształt elipsy. Dowodzi to, że w kwarcu ciepło rozchodzi się szybciej w kierunku głównej osi, aniżeli w kierunku do niej prostopadłym.

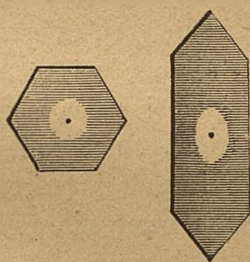


Fig. 470. Niejednąkowe przewodnictwo kwarcu w różnych kierunkach.

Następne liczne doświadczenia Lang'a i Jannetaz'a potwierdziły rezultaty, otrzymane przez Senarmont'a i rozszerzyły oprócz tego zakres naszych wiadomości o przewodnictwie ciepła w kryształach. Pokazały one, że wszystkie optycznie jednoosiowe kryształy są także i termicznie jednoosiowe i że w ogóle powierzchnia izotermiczna w kryształach jest taka sama jak powierzchnia falowa dla promieni nadzwyczajnych tak, że np. tam gdzie promienie te tworzą powierzchnię falową pod postacią wydłużonego elipsoidu, tam też i powierzchnia izotermiczna przedstawia taką samą figurę.

Podobnie przewodnictwo drzewa jest inne w kierunku równoległym do włókien, aniżeli w kierunku do nich prostopadłym,

jak tego dowiedli De la Rive, Decandolle, Tyndall oraz Knoblauch. Drzewa mianowicie najlepiej przewodzą ciepło równolegle do włókien, najgorzej zaś prostopadle do nich; różnica jest często bardzo znaczna, lecz nader rozmaita u odmiennych gatunków drzewa. Wreszcie dodajmy, że Senarmont znalazł podobne różnice w zdolności przewodnictwa szklanych tafelek, które poprzednio ulegały ściskaniu: w kierunku ściskania przewodnictwo jest najsłabsze.

Przewodnictwo cieczy, z wyjątkiem rtęci, jest nader słabe, jak o tem łatwo przekonać się można ogrzewając ciecz z góry. Jeżeli np. do szklanej, cienkiej rurki wprowadzimy kawałek lodu i napełnimy ją wodą przy 0^0, to można w górnej części rurki doprowadzić wodę do wrzenia, a lód nie stopi się. Dlatego też należy zawsze ciecze ogrzewać od dołu, wtedy bowiem ogrzewanie odbywa się za pośrednictwem prądów wewnętrznych: ciecz cieplejsza, rozszerzając się, staje się lżejsza i wznosi się ku zimniejszej, ta ostatnia zaś opada ku dołowi. Prądowanie to staje się widocznem po wsypaniu trocin do szklanej kolby, napełnionej wodą i ogrzewanej nad płomieniem. Widać wtedy, jak trociny, unoszone prądem wody, podnoszą się wzdłuż ścian kolby i opadają pośrodku, albowiem dzięki prądowi ciepłego powietrza, wznoszącego się od płomienia, woda jest cieplejsza przy ściankach, aniżeli w środku kolby. Następuje mieszanie się cieczy ciepłej z zimną, która powoduje ogrzanie całej masy.

Rumford sądził nawet, że w ogóle ciecze w ten jedynie sposób mogą przewodzić ciepło, fakty zaś sprzeczne z tym sądem objaśniał on twierdząc, że do głębi naczynia z cieczą, ogrzewanego z góry, ciepło dostaje się przez przewodnictwo ścian. Inni zaś, jak Murray, Thomson i Parrot twierdzili na zasadzie swych doświadczeń, że ciecze, podobnie jak ciała stałe, mogą przewodzić ciepło, liczne zaś i dokładne doświadczenia Despretz'a nie pozostawiają co do tego wątpliwości. Uczony ten wywnioskował nawet z tych doświadczeń, że prawo o rozmieszczeniu ciepła w cieczach jest takie same, jak odnośne prawo dla ciał stałych. Posługiwał się on cylindrem z drzewa *B* (fig. 471, str. 833), którego średnica wynosiła 0,4 metra; w ścianie jego na jednej

Дозволено Цензурою, Варшава 21 Апрѣля 1889 г.

Druk Jana Cotty w Warszawie, Senatorska 29.

CENA 20 KOP.

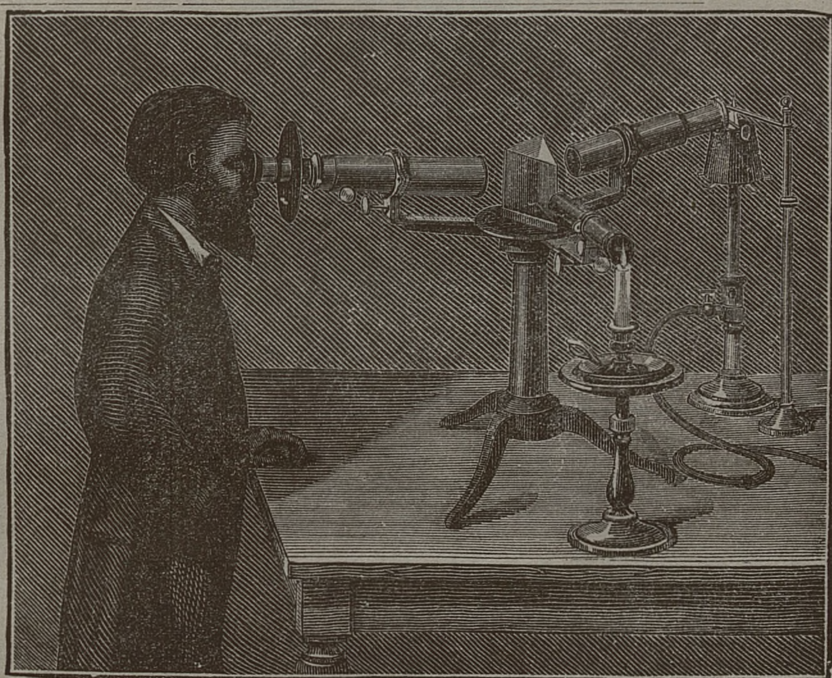
Zeszyt 27.

CENA 20 KOP.

SIŁY PRZYRODY.

POPULARNY WYKŁAD FIZYKI

I GŁÓWNIEJSZYCH JEJ ZASTOSOWAŃ.



Spektroskop

Podług dzieła A. Guillemin'a „Le monde physique"

OPRACOWALI

Józefowa Nusbaum

bak. n. prz.

i

Henryk Silberstein

dr. fil., b. as. chem. przy un. w Bernie.

WARSZAWA.

Nakładem Księgarni **H. Olawskiego**, ul. Mazowiecka № 6.

1889.

linii znajdowała się pewna liczba otworów, odległych od siebie o 4.5 centym. W otworach szczelnie osadził termometry; zbiorniki ich znajdowały się na osi cylindra, jeden nad drugim, rurki zaś wystawały na zewnątrz.

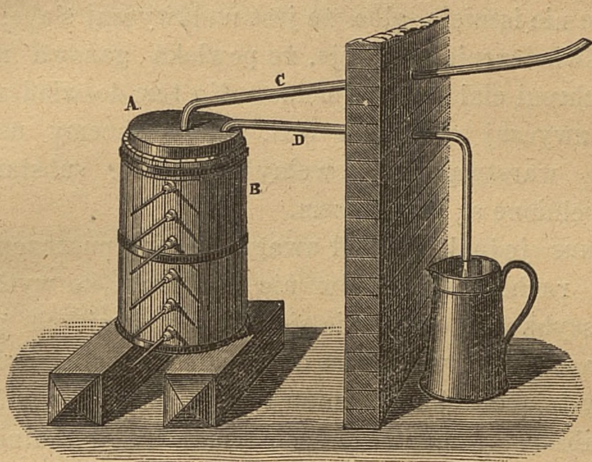


Fig. 471. Doświadczenie Despretz'a.

ki zaś wystawały na zewnątrz. Cylinder napełnił wodą i wstawił weń miedziany kociołek *A* tak, że dno tego ostatniego dotykało powierzchni wody. Kocioł napełniał co pięć minut gorącą wodą, która przybywała przez rurę *C* i za każdym razem odprowadzał zimną wodę przez rurę *D*. Po 36 godzinnem ogrzewaniu nastąpił stateczny rozkład ciepła w całym słupie wody. Termometry z góry na dół wskazywały coraz mniejszy nadmiar temperatury nad temperaturę otaczającego powietrza tak, że np. dla pierwszego od góry termometru wynosił on 29,21, czwartego 10,35, szóstego 5,03. Z rezultatów tych wynika, że jeżeli przewodnictwo miedzi oznaczymy przez 1000, to dla wody wyraża się ono cyfrą 9. Następne doświadczenia pokazały dalej, że w miarę podwyższania temperatury woda coraz lepiej przewodzi ciepło oraz, że wszystkie roztwory solne stanowią lepsze przewodniki od wody.

Co do gazów, to przez długi czas przyjmowano, że i one przewodzą ciepło jedynie przez prądowanie, które powstaje

w nich wskutek rozszerzania się pod wpływem ogrzewania. Różnice w szybkości, z jaką rozmaite gazy ogrzewają się, albo też z jaką ciała oziębiają się w nich, objaśniano niejednakową ruchliwością gazów. Sądzono, że właściwe przewodnictwo gazów albo wcale nie istnieje, albo że jest nadzwyczaj słabe; codzienne wszak doświadczenie pokazuje, że powłoka gazowa nieruchoma najlepiej chroni ciało od oziębienia. Na tem doświadczeniu oparty jest zwyczaj obwijania ciał, które chcemy ustrzedz od oziębienia, warstwą waty, wełny lub puchu, substancye te bowiem wypełnione są powietrzem.

Magnus jednak zwrócił uwagę, że przypuszczenie o niejednakowej ruchliwości gazów nie wystarcza do wytłomaczenia różnic w szybkości oziębiania się ciał w rozmaitych gazach, albowiem w wodorze, w którym oziębienie najszybciej się odbywa, prądy powstające wskutek zmian temperatury, powinny właśnie być najsłabsze. Mianowicie spółczynnik rozszerzalności wodoru jest mniejszy od spółczynnika dla pozostałych gazów i dlatego zmiany gęstości, będące skutkiem zmian temperatury, są w wodorze mniejsze, niż w innych gazach, a więc i prądy muszą tutaj być słabsze. Wynika z tego, że jedyną przyczyną szybszego oziębiania się ciał w wodorze, jest to, iż on lepiej przewodzi ciepło, aniżeli inne gazy. Jakkolwiek ten wniosek Magnusa nie jest zupełnie wolny od zarzutu, albowiem siła prądów zależy także od spółczynnika tarcia, który dla wodoru jest najmniejszy, to jednak był on powodem, że wspomniany uczony przedsięwziął doświadczenia, które w sposób przekonywujący wykazały, że wodór jest lepszym przewodnikiem od innych gazów, a więc że w ogóle gazy mogą przewodzić ciepło. Wielkie jednak trudności tych doświadczeń nie pozwoliły Magnusowi uporządkować gazy w szereg, według ich zdolności przewodnictwa. Pierwszy Narr próbował porównać zdolności przewodnictwa rozmaitych gazów, obserwując termometry, które oziębiały się w przestrzeni próżnej lub napełnianej kolejno rozmaitemi gazami. Przyjąwszy zdolność przewodnictwa powietrza za 1, Narr znalazł, że dla wodoru wynosi ona 5,51, azotu 0,98, kwasu węglanego 0,81. Po nim wielu badaczy, jak Stefan, Kundt, Warburg, Winkelman,

zajmowali się tym przedmiotem, dla braku jednak miejsca nie możemy się wdawać w opis ich doświadczeń, dodamy tylko, że według nich przewodnictwo wodoru odnośnie do przewodnictwa powietrza, przyjętego za jedność, jest większe, wynosi bowiem 6,33.

§ 5. Zastosowania praktyczne.

Temperatura pokoju zależy nietylko od aparatów ogrzewających, które dostarczają mu ciepła bądź przez promieniowanie, bądź przez przewodnictwo, lecz także od stanu powietrza zewnętrznego oraz od zdolności przewodnictwa murów. Mury grube, zbudowane z materyałów, słabo przewodzących ciepło, przedstawiają dla mieszkańca korzyść podwójną, w zimie bowiem chronią go od zimna, w lecie zaś od ciepła, które stara się przeniknąć z zewnątrz. Pod tym względem cegła stanowi lepszy materyał budowlany od granitu, piaskowca, porfiru i marmuru; jeszcze lepszym materyałem jest drzewo, które daleko słabiej od nich przewodzi ciepło. Dlatego też w krajach, gdzie podczas zimy temperatura bardzo się obniża, jak np. w Rosyi, znajdujemy na wsi wielką ilość drewnianych domów; ściany ich składają się z podwójnej warstwy grubych desek, pomiędzy któremi znajduje się wolna przestrzeń, wypełniona wiórami, lub mchem wysuszonym. Substancye te szczególnie nadają się do podobnych celów, gdyż wypełnione są nieruchomem powietrzem, które, jak wiemy, jest bardzo złym przewodnikiem ciepła. Z tej własności powietrza korzystamy także, gdy chcąc uchronić mieszkanie nasze od zimna wstawiamy tak zwane podwójne okna. Działanie ich nie zależy bynajmniej od tego, że przybywa jeszcze jedna cienka warstwa szkła; właściwy wpływ wywiera tutaj powietrze, zawarte pomiędzy zewnętrzną i wewnętrzną szybą. Gdy w zimie okna są pojedyńcze, wtedy powietrze, przylegające z zewnątrz do szyby, ogrzewa się od ciepła pokoju, następnie wznosi się do góry, na jego zaś miejsce przybywa świeża warstwa zimnego powietrza. Przy podwójnych oknach jest to niemożliwe, pod

warunkiem jednak, że one szczelnie się zamykają, w przeciwnym bowiem razie nie przynoszą żadnej korzyści, mogą nawet przyczyniać się do szybszego oziębiania pokoju, gdyż powietrze zawarte pomiędzy niemi swobodnie wtedy krąży. Widzimy tedy, że nieruchoma warstwa powietrza tworzy jakby zaporę, której nie mogą przeniknąć ciemne promienie cieplne.

Piwnice są mniej wystawione na zmiany temperatury, aniżeli mieszkania piętrowe, albowiem w nich ciepło jeszcze mniej może przenosić się z wewnątrz na zewnątrz lub naodwrót; dlatego też temperatura ich w ciągu całego roku jest umiarkowana i tembardziej jednostajna, im głębsza jest piwnica. Podług Quetelet'a, już na głębokości 4 stóp dzienne zmiany temperatury nie dają się zauważyć, przy głębokości zaś 28 stóp i roczne zmiany zaledwie mogą być skonstatowane. Wprawdzie termometr, który Cassini i Legentil umieścili w roku 1783 w piwnicy, głębokiej na 86 stóp, wskazywał według mierzeń, dokonanych przez Arago'a w roku 1817, podwyższenie temperatury równe $^1/_4{}^0$, mogło to jednak zależeć od zmian w samym przyrządzie, tembardziej, że w ciągu pojedyńczych lat wahań podobnych nie zauważono. Piwnice w zimie są cieplejsze, w lecie zaś chłodniejsze od naszych mieszkań i dlatego korzystnie jest przechowywać w nich przedmioty, które podczas zimy mogą być uszkodzone od zimna, podczas lata od zbytniego gorąca. Ze względu zaś na panującą w nich stale wilgoć, oraz na brak świeżego powietrza i światła, piwnice nie powinny wcale służyć za mieszkania ludzkie.

Chcąc lód zebrany w zimie uchronić od stopienia w lecie, należy go przechowywać w głębokich dołach, obmurowanych cegłą; gdy doły są już napełnione bryłami lodu, polewa się je podczas silnego mrozu wodą, która po zamarznięciu tworzy doskonałą, ochronną powłokę, albowiem lód należy do najgorszych przewodników ciepła. Dach zbudowany nad taką lodownią, pokrywa się gęsto słomą, przez co jeszcze bardziej utrudnia się dostęp promieni słonecznych.

Na takich samych, jak powyższa zasadach, opieramy się także, gdy chodzi o zabezpieczenie naszego własnego ciała od gorąca i zimna. Im wyższa jest kultura, tam sztuczniejszy jest

sposób przygotowywania materyałów, służących człowiekowi do pokrycia ciała i tembardziej odpowiadają one jego potrzebom. Na najniższym szczeblu kultury wybiera on poprostu jaką skórę zwierzęcia, zabitego na polowaniu i ona służy mu za odzież bez wszelkiej dalszej przeróbki; pewien postęp znajdujemy tam, gdzie przez garbowanie czynią skórę nieprzemakalną. I nam wiadomo również, że uwłosienie zwierzęce, ze względu na słabą zdolność przewodnictwa ciepła, nadaje się szczególnie dobrze do ochrony naszego ciała, w większości jednak wypadków kontentujemy się tkankami z włókien, które działają w podobny, chociaż nie równie skuteczny sposób.

Temperatura ciała ludzkiego jest we wszystkich strefach i w każdej porze roku stała i wynosi średnio 37° C.; można powiedzieć, że jest ona prawie zupełnie niezależna od zewnętrznych warunków. Krew Laplandczyka nie jest zimniejsza od krwi Indusa, podróżny zaś, jadący od bieguna północnego do południowego, zaledwie może zauważyć podniesienie temperatury swego ciała na równiku. Fakt ten każe nam wnosić, że wyższa temperatura otoczenia nie wpływa na podniesienie stanu ciepłoty naszego ciała, lecz że ciepło doprowadzone doń w większej ilości zużywa się przy innych procesach, jak np. przy parowaniu wydzielającego się wtedy obficie potu. Gdy przeciwnie otoczenie nasze posiada niższą temperaturę tak, że przez promieniowanie musimy wciąż oddawać ciepło, wtedy czynność organizmu, szczególniej w płucach, staje się energiczniejszą, przez co utrata ciepła znów jest powetowana. W obu jednak razach należy chronić ciało od wszelkiej nagłej zmiany temperatury, co osiąga się za pomocą złych przewodników ciepła. Przy wyborze tym należy mieć na uwadze nietylko ich przewodnictwo, lecz także gęstość tkanki oraz jej grubość. Niektóre materyały, służące nam za odzież i pościel ułożono w szereg podług ich zdolności przewodnictwa, który poczyna się od najlepszego przewodnika, a więc od najmniej przydatnego do omawianego tutaj celu i kończy najgorszym: kręcony jedwab, płótno, bawełna, wełna owcza, kitaj, surowy jedwab, futro bobrowe, puch edredonowy. Jedwab nietylko jest daleko lepszym przewodnikiem ciepła od wełny, lecz

tkanka jedwabna jest bardziej zbita i zawiera mniej powietrza, tak, że pod względem istotnego pożytku w znacznym stopniu ustępuje miejsca tkance wełnianej. Oprócz tego wełna, a jeszcze lepiej futro, stanowią najlepszą ochronę nietylko przeciwko zimnu, lecz także przeciwko zbyt silnym promieniom słonecznym i dlatego narody południowej Europy chętnie noszą lekkie materye wełniane, beduini zaś w pustyni nie zdejmują swych owczych futer zimą i latem.

Ponieważ metale są bardzo dobremi przewodnikami, to przy zetknięciu z naszem ciałem nadzwyczaj szybko odejmują jego ciepło tak, że doznajemy wtedy nader silnego wrażenia zimna, drzewo natomiast odprowadza ciepło bardzo powoli i dlatego przy zetknięciu z niem mniej czujemy zimno, gdyż utracone ciepło wkrótce zostaje zastąpione przez nową jego ilość z wnętrza organizmu. Podłoga drewniana jest lepsza od kamiennej, gdyż drzewo daleko gorzej przewodzi ciepło, aniżeli kamień; z tego samego powodu deski z drzewa sosnowego wydają się mniej zimne, niż dębowe, oprócz tego, podłoga zaciągnięta farbą olejną, lepiej przewodzi ciepło od czystej podłogi i dlatego pierwsza wydaje się zimniejszą. Wiadomo także, że posiłkujemy się ustawicznie złemi przewodnikami w celu ustrzeżenia pokarmów i napojów od oziębienia lub ogrzania, zależnie od użytku do jakiego mają służyć. Na wystawie paryskiej w roku 1867 można było oglądać przyrząd, w którym potrawy gotują się przez dłuższy czas bez nowego dopływu ciepła. Składa się on z wielkiej skrzyni drewnianej, której dno, ściany i pokrywa obite są wewnątrz bardzo grubą warstwą filcu; wnętrze jej wypełnia szczelnie metalowy kocioł. Przy posługiwaniu się tym przyrządem wyjmujemy kocioł, napełniamy potrawami, które chcemy ugotować i ogrzewamy do wrzenia, gdy ono już się rozpoczęło, wstawiamy kocioł do skrzyni, pokrywamy go jeszcze kawałkiem grubego filcu i zamykamy hermetycznie. Dzięki słabemu przewodnictwu filcu, skrzynia zatrzymuje ciepło przez długi czas tak, że potrawy zawarte w kotle, dogotowują się bez dalszych z naszej strony starań. Obserwacye pokazały, że w przeciągu

3-ch godzin temperatura w przyrządzie obniżyła się tylko o 12 stopni.

Podobnie jak złe przewodniki pomagają nam do utrzymania ciał przy danej wysokiej temperaturze, tak też naodwrót możemy posługiwać się dobremi przewodnikami w tych razach, gdy chcemy jakiemuś ciału szybko odjąć jego ciepło. Angielski fizyk Humphrey Davy zauważył, że gdy do wnętrza płomienia wprowadzamy delikatną, drucianą siatkę, to powyżej niej palenie ustaje, gdyż gazy wskutek zetknięcia z metalem, tak silnie się oziębiają, że proces palenia zostaje przez to wstrzymany. Gdy przeciwnie zbieramy gaz ponad siatką i tutaj zapalamy go, płomień również nie przechodzi pod siatkę (fig. 472). Obserwacye te doprowadziły Davy'ego do zbudowania przyrządu, który chroni górników od niebezpieczeństwa, na które są narażeni z powodu gazów wybuchowych, zbierających się w kopalniach węgla. Jeżeli gaz taki, zmieszany z powietrzem, zetknie się z ogniem, wtedy wybucha gwałtownie. Przyrząd ten, zwany lampą Davy'ego (fig. 473, str. 840) składa się z lampy, której płomień całkowicie jest otoczony delikatną siatką z drutu platynowego. Gdy górnik z takim przyrządem dostaje się do wnętrza kopalni napełnionej gazem wybuchowym, wtedy gaz ten przechodzi wprawdzie przez oczka siatki do płomienia i tutaj zapala się, lecz palenie odbywa się tylko wewnątrz lampy, niebezpieczeństwo zaś eksplozyi zostaje usunięte. Lampę bezpieczeństwa następnie ulepszono, dolną mianowicie część powłoki otaczającej plomień, przygotowują z mocnego szkła i na niem dopiero osadzają siatkę, a to dlatego, ażeby nie przyćmie-

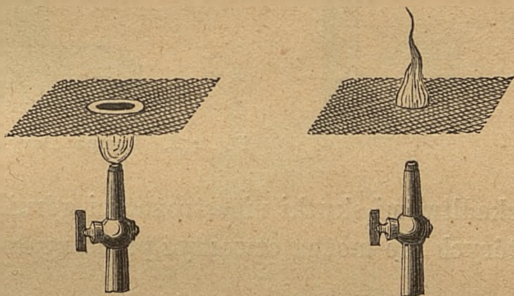


Fig. 472. Delikatna siatka metalowa przeszkadza rozchodzeniu się ciepła.

wała światła płomienia. Oprócz tego starano się uczynić nie-

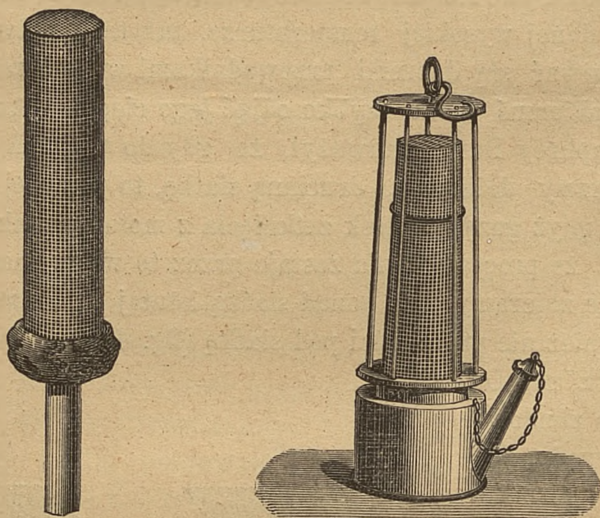


Fig. 473. Lampa Davy'ego.

szkodliwemi skutki nieostrożności górników i zbudowano lampy, których nie można otworzyć przed zgaszeniem płomienia.

ROZDZIAŁ V.

Mechaniczna teorya ciepła.

§ 1. Powstawanie ciepła przez tarcie, ciśnienie i uderzenie.

Kilkadziesiąt przeszło lat temu Rumford rozpoczął cały szereg doświadczeń nad wytwarzaniem się ciepła przez tarcie. Był on wtedy zajęty świdrowaniem dział, wywiązujące się zaś przy tej czynności ciepło tak go zaciekawiło, że wynalazł nawet przyrząd do badania ciepła, powstającego wskutek tarcia. Kazał on ukuć żelazny walec wewnątrz pusty, w którym umieścił szczelnie przystający tłok i całość tę wstawił do skrzyni, zawie-

rającej około 7,5 kilograma wody o temperaturze równej 15,6° C. Po godzinnem obracaniu tłoka, temperatura wody wskutek tarcia podniosła się do 41,7°, po półtoragodzinnem obracaniu termometr wskazywał 61,1°. Ruch utrzymywano stale tak, że po upływie dwóch godzin temperatura doszła do 81,1°, po upływie dwóch godzin i dwudziestu minut do 93,3° i wreszcie po półtrzeciagodzinnem obracaniu *woda zaczęła wrzeć.* Tyndall powtórzył doświadczenie Rumforda, lecz w sposób daleko prostszy i znacznie mniej wymagający czasu. Przymocował mianowicie rurkę mosiężną, u dołu zamkniętą, do bloku, połączonego sznurem bez końca z kołem, za pomocą którego można ją było nadzwyczaj szybko obracać (fig. 474). Dwie deseczki dębowe, spojo-

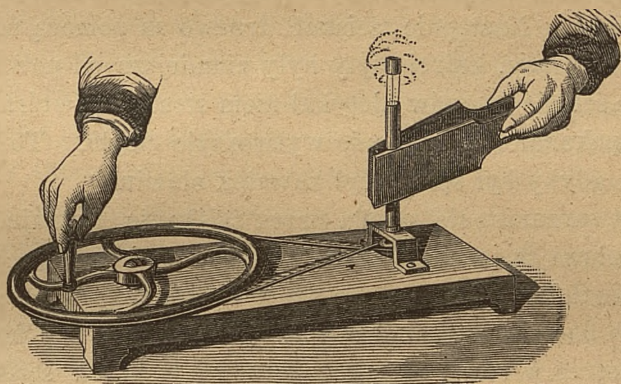


Fig. 474. Doświadczenie Tyndalla nad wytwarzaniem się ciepła przez tarcie.

ne zawiasą i zaopatrzone w półokrągłe wyżłobienia, odpowiednio do grubości rurki, stanowiły rodzaj kleszczów, których ramiona obejmowały rurkę i powodowały tarcie jej o drzewo, skoro tylko w ruch ją wprowadzono. Rurkę napełnił wodą, zatkał korkiem i zaczął obracać korbą; w miarę obracania rurki temperatura wody podnosiła się i jeszcze przed upływem półtrzeciej minuty można było dostrzedz wydobywającą się parę wodną. Nakoniec siła pary wyrzuciła korek na 6 przeszło metrów, co dowodziło wrzenia wody.

Ręce także rozgrzewamy, pocierając jedną o drugą i innym zziębniętym członkom w taki sam sposób dodajemy ciepła. Wiadomo, że dzicy robią sobie ogień, pocierając dwa kawałki drzewa odpowiednio przygotowanego, przez tarcie także zapalamy zapałki. Podkowy końskie uderzając o bruk sypią iskrami, to samo ma miejsce przy krzesaniu ognia, albowiem małe odbite cząsteczki metalu tak się wtedy rozgrzewają, że zapalają się i płoną w powietrzu. Są to zjawiska od dawna znane, już Arystoteles bowiem mówi o rozgrzewaniu się strzał prujących powietrze. Tak samo kula karabinowa rozgrzewa się wskutek tarcia.

Tyndall pokazał za pomocą termomultyplikatora, że ciepło wytwarza się także przez ciśnienie. Kawałkiem jodłowego drzewa, zimniejszym od temperatury pokoju, w którym wykonywał doświadczenie, dotykał on stosu i wywoływał zboczenie, dowodzące zimna. Następnie ściskał drzewo za pomocą małej, hydraulicznej prasy, której płyty były zimniejsze od powietrza pokoju i po ściśnięciu znów dotykał niem stosu, a powtórne zboczenie igły pokazało, że ciśnienie wytworzyło ciepło. To samo nastąpiłoby gdyby był spłaszczył kawałek ołowiu.

Wytwarzanie się ciepła przez ściskanie okazuje się także bardzo dobrze za pomocą krzesiwka pneumatycznego, w którem na spodzie tłoka, posuwającego się w rurze, znajduje się kawałek hubki lub bawełny strzelniczej; przy gwałtownem zepchnięciu tłoka, powietrze w rurze tak się rozgrzewa wskutek ściskania, że hubka się zapala (patrz str. 143).

Tyndall badał także następstwa uderzenia. Zimną ołowianą kulę kładzie na zimnem kowadle i uderza zimnym młotem. Młot upada z pewną mechaniczną siłą, a jego ruch zatrzymuje się raptownie na kuli i na kowadle. Siła młotu pozornie znika, lecz po bliższem badaniu okazuje się, że ołów ogrzał się. Zobaczymy następnie, że gdybyśmy zebrali całkowitą ilość ciepła wytworzoną przez to uderzenie i mogli je znowu zużytkować bez mechanicznej straty, to bylibyśmy w stanie podnieść niem młot do wysokości, z której spadł. Dalej Tyndall zanurza stos termoelektryczny w rtęci, przyczem zboczenie igły wskazuje, że metal jest zimny. Następnie bierze dwie szklanki, owinięte krajką

ażeby ich nie ogrzać ciepłem rąk i przelewa kilkakrotnie rtęć z jednej do drugiej; rtęć spada za każdym razem z pewną mechaniczną siłą, ruch jej ginie, ale pozostaje ciepło. Albowiem gdy po takiem przelewaniu, powtórzonem 10 do 15 razy, zanurza znów przyrząd w rtęci, zboczenie igły wskazuje, że zimny poprzednio metal jest teraz cieplejszy od stosu. Powtarza się to samo na większą skalę w każdym wodospadzie. Gdybyśmy zmierzyli delikatnym termometrem temperaturę wody u góry i u dołu wodospadu Niagary, znaleźlibyśmy, że woda jest cieplejsza u dołu, aniżeli u góry. Mniemanie zatem żeglarzy, że woda morska jest cieplejsza po burzy, niż przed burzą, jest teoretycznie zupełnie słuszne, gdyż w rzeczy samej mechaniczna siła wodnych fal musi ostatecznie zamienić się w ciepło.

Ciepło więc wytwarza się wskutek przezwyciężenia tarcia, a ilość jego jest dokładną miarą czynnika użytego do tego. *Ciepło zatem jest tym pierwotnym czynnikiem, tylko że objawia się w innej formie.* Jeżeli chcemy przeszkodzić tej przemianie, to musimy zniszczyć tarcie i dlatego skrapiamy oliwą kamienie do szlifowania, powlekamy tłuszczem piły, smarujemy osie u wozów. Maszynista kolejowy, wiodący pociąg, usiłuje przeszkodzić, ażeby część siły pary, którą otrzymał pierwotnie za pomocą ciepła, nie przyjęła napowrót tej formy, albowiem każdemu stopniowi ciepła, wytworzonego przez tarcie osi, odpowiada pewna strata w sile pędu maszyny; dlatego też smaruje on starannie osie wagonów. To samo ma miejsce kiedy tracz smaruje tłuszczem piłę. Używa on siły mięśni swych do przerznięcia drzewa, za pomocą zębów piły chce on rozdzielić jego cząstki i przezwyciężyć przyrodzoną ich spójność. Lecz jeżeli na szerokiej powierzchni piły powstaje silne tarcie, wtedy ona porusza się z trudnością i przy tej samej ilości zużytej siły tracz otrzymuje mniejszy rezultat, aniżeli gdyby piła działała bez tarcia. Lecz rezultat jest mniejszy jedynie pod względem samego piłowania, bezwzględnie zaś nie jest on wcale mniejszy, albowiem siła, której piła nie zużywa, nie ginie bynajmniej, gdyż — jak to wykazuje doświadczenie — zmienia się w ciepło. Gdybyśmy mogli zebrać ciepło, wytworzone przez tarcie piły i obrócić je w ruch, moglibyśmy odtworzyć tę ilość

siły, jaką tracz zużył w innej formie, kiedy zapomniał piłę nasmarować.

We wszystkich przytoczonych wyżej zjawiskach ciepło powstało kosztem mechanicznych czynników, a więc pokazują one, że *ciepło powstaje wtedy, gdy znika ruch mechaniczny.* Naodwrót także zużycie ciepła wytwarza mechaniczny ruch, czyli innemi słowy *mechaniczna siła powstaje wtedy, gdy znika ciepło,* jak tego naprzykład dowodzi następujące doświadczenie Tyndalla. Naczynie o mocnych ścianach napełnia on zgęszczonem powietrzem i pozostawia przez kilka godzin, ażeby temperatura wewnętrzna nie różniła się od temperatury pokoju. Powietrze to ciśnie na ściany naczynia tak, że po otworzeniu krana część jego gwałtownie wychodzi na zewnątrz (fig. 475); wydobywające się po-

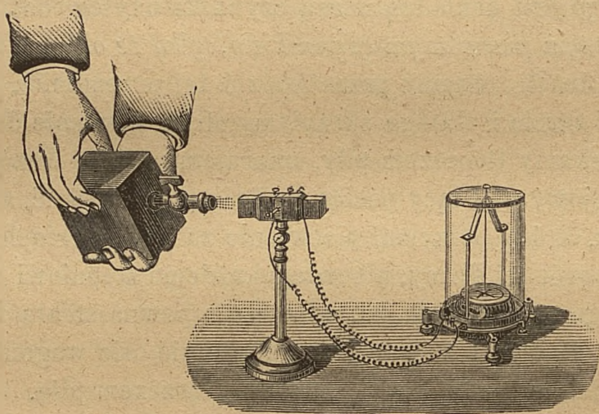


Fig. 475. Doświadczenie Tyndalla. Powietrze zostaje wydalone kosztem ciepła.

wietrze jest wypychane przez to, które się pod niem znajduje. Chcąc przekonać się, w jakim stanie znajduje się powietrze *pracujące* w tym procesie, Tyndall puszcza wydobywający się strumień na powierzchnię stosu, a kierunek zboczenia igły przekonywa go, że stos się oziębił. Powietrze jest zimniejsze dlatego, że wykonywa mechaniczną pracę, a nie ma do pomocy innego czynnika, tylko wewnętrzne swe ciepło. Następnie Tyndall wywołuje wprost przeciwne zboczenie igły skierowując na powierzch-

nię stosu termoelektrycznego strumień powietrza, wydobywającego się ze zwyczajnego miecha (fig. 476). W poprzedniem do-

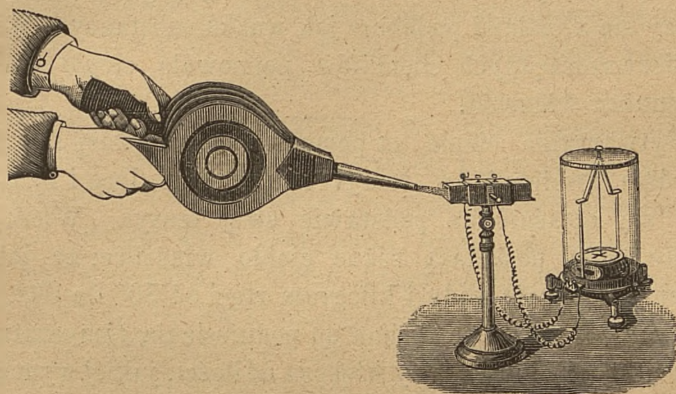


Fig. 476. Inne doświadczenie Tyndalla. Powietrze zostaje wydalone kosztem siły mechanicznej.

świadczeniu całą mechaniczną pracę wydalania powietrza wypełniało samo powietrze, wskutek czego zużywała się część jego ciepła, w doświadczeniu zaś z miechem pracują mięśnie eksperymentatora. Strumień wydalonego z miecha powietrza, uderzając o powierzchnię stosu, znajduje opór, zaraz też powstaje ciepło równoważne zniszczonemu ruchowi, jak tego dowodzi kierunek zboczenia igły.

§ 2. Istota ciepła. Zasada zachowania energii. Mechaniczny równoważnik ciepła.

Obecnie zjawia się przed nami pytanie, dlaczego ciepło powstaje przez pracę mechaniczną i jaka jest właściwa istota jego? Przez długi czas tak zwana *teorya materyalna* ciepła starała się odpowiedzieć na to pytanie, a twierdzenia jej pod pewnym względem były tak proste, że zapewniały jej ogólne uznanie. Teorya ta uważa ciepło jako pewnego rodzaju materyę, coś w rodzaju delikatnego płynu, wypełniającego przestrzenie pomiędzy najdrobniejszemi cząstkami ciał. Chemik Gmelin określa np.

ciepło w następujący sposób: „Jest to substancya, która wchodząc do naszego ciała daje nam poczucie ciepła, wychodząc zaś z niego sprawia poczucie zimna.“ Podług jego mniemania ciepło łączy się z ciałami podobnie jak ważka substancya. Wielu innych pierwszorzędnych chemików pojmowało ciepło z tego samego punktu widzenia.

Wytwarzanie ciepła za pomocą mechanicznej siły wikłało wprawdzie zwolenników teoryi materyalnej, lecz i to zjawisko starali się objaśnić na podstawie swej teoryi. Wiedzieli, że rozmaite ciała posiadają różne ciepło właściwe; że jeżeli np. ogrzejemy kilogram wody i kilogram rtęci od 50° do 60°, to bezwzględna ilość ciepła potrzebna do podniesienia temperatury wody o 10° jest trzydzieści razy większa od ilości, jakiej wymaga rtęć. Przyjmowali tedy, że woda posiada zdolność pochłaniania cieplika i może go pochłonąć tyle, że 30 jego jednostek wywołuje w niej ten sam rezultat, co jedna jednostka w rtęci. Otóż takie naprzykład doświadczenie, jak powyżej opisane z ołowianą kulą, ogrzaną przez ciśnienie, zwolennicy teoryi materyalnej wytłomaczyliby w ten sposób: ołów przed ciśnieniem miał większe ciepło właściwe, aniżeli po ciśnieniu, czyli, że wielkość przestrzeni pomiędzy jego cząstkami zmniejszyła się wskutek ciśnienia, przez co część utajonego przedtem ciepła musiała się ujawnić, gdyż ściśnięta substancya nie mogła go już tyle w sobie zawrzeć. W podobny sposób wytłomaczyliby doświadczenia z tarciem i uderzeniem. Zwolennicy teoryi materyalnej przyjmują, że ilość ciepła we wszechświecie jest tak stała, jak ilość materyi; za pomocą sił chemicznych lub mechanicznych można jedynie wywołać to, że ciepło skupi się w jednem miejscu lub też wyjdzie ze swych kryjówek, czyli ujawni się, lecz nowej ilości ciepła wytworzyć nie można.

Teorya dynamiczna albo *mechaniczna* ciepła odrzuca pojęcia, że ciepło jest materyą, lecz uważa je jako pewien stan, mianowicie jako ruch najdrobniejszych cząstek ciała. W istocie bezpośrednie badanie niektórych objawów musi budzić, jak powiada Tyndall, w każdym myślącym umyśle instynktowe przypuszczenie, że ciepło jest rodzajem ruchu. Już Bacon (1665)

był tego mniemania, Locke zaś tak się o przedmiocie tym wyraża: „Ciepło jest to nadzwyczaj ożywiony ruch nieskończenie małych cząstek jakiegokolwiek przedmiotu, ten ruch wytwarza w nas pewne wrażenie, które sprawia, że przedmiot ów nazywamy ciepłym. To więc, co się w naszych wrażeniach objawia jako ciepło, jest w przedmiotach ruchem tylko.“

W podobny sposób wyrażali się najznakomitsi badacze XVII stulecia, jak Boyle oraz Newton; pierwszy uważał ciepło jako drgający ruch najdrobniejszych cząstek czyli atomów, drugi zaś, który ociągał się z przyjęciem teoryi falowania światła, zgadzał się z poglądem, że cieplo polega na drgającym ruchu eteru. W wieku XVIII najwybitniejszymi obrońcami mechanicznej teoryi ciepła byli: Rumford i Davy, którzy pogląd swój opierali głównie na możności wytwarzania ciepla przez tarcie i uderzenie, wnioskując z tego, że znikający przy podobnych zjawiskach ruch całej masy zmienia się w drgający ruch pojedyńczych cząstek. Davy wykonał doświadczenie, którego rezultat może być uważany jako jeden z najpierwszych dowodów niemateryalności ciepła. Wiemy mianowicie, że lód posiada mniejsze ciepło właściwe, aniżeli woda tak, że ta sama ilość ciepła, która ogrzewa kilogram lodu na dziesięć np. stopni, ogrzewa kilogram wody zaledwie na pięć. Wiemy dalej, że aby lód stopić, potrzeba wielkiej ilości ciepła, które zostaje utajone. Otóż Davy stopił dwa kawałki lodu przez wzajemne ich tarcie o siebie, a więc wytworzył substancyę, która posiadała daleko znaczniejszą ilość bezwzględnego ciepła, aniżeli lód; w tym razie nie można było przypuścić, że tarcie ujawniło tylko pewną ilość ukrytego w lodzie ciepła, ponieważ stanowiło ono tylko małą część ciepła, zawartego w wodzie.

W pierwszych dziesiątkach naszego stulecia mechaniczna teorya ciepła znalazła nowych zwolenników, jak Thomasa Young'a i Ampera. A jednak wszyscy wspomnieni uczeni nie zdołali odeprzeć zupełnie materyalnej teoryi ciepła. Dopiero badania Melloni'ego nad ciepłem promienistem, które wykazały najzupełniejszą zgodność pomiędzy zachowaniem się promieni

świetlnych i cieplnych, zmusiły fizyków do przyjęcia poglądu, że ciepło — promieniste przynajmniej — polega na drganiu eteru. Gdy więc z jednej strony drgający ruch przyjęto za przyczynę pewnej grupy zjawisk cieplnych i gdy z drugiej znano zjawiska pochłaniania ciepła, łatwo już było wywnioskować z tego, że ciepło istniejące w ciałach również polega na ruchu bądź eteru, bądź samych cząstek. Lecz nie takie wnioski zapewniły dynamicznej teoryi ciepła ogólne uznanie; zrobiła to zasada nadzwyczaj ważne znaczenie mająca w nauce i znana pod nazwą *zasady zachowania energii*.

Siły mogą być rozmaicie dzielone, w ogóle jednak podziały te są mniej lub więcej tylko dowolne. Godnym uwagi jest podział sił angielskich uczonych na *siłę żywą* czyli *energię czynną*, *cynetyczną* lub *energię ruchu* i *siłę prężną* czyli *energię możliwą*, *potencyalną* lub *statyczną*. Siłę żywą np. posiada kula armatnia w biegu, kamień spadający z wysokości i t. p. *Siła prężna* jest jakby nagromadzona w ciele i w odpowiednich warunkach może objawić się czynnie: siła objawiająca się ruchem kuli zawarta już była w prochu; działanie, jakie wywrzeć może spadający kamień, pochodzi od siły, która go przedtem podniosła na pewną wysokość; rezultaty prężności pary w maszynie zależą od ciepła, wytworzonego przy łączeniu się węgla z tlenem. Mechanika uczy, że siła żywa poruszonej masy jest równa iloczynowi z siły poruszającej przez drogę, na jakiej siła ta działała; iloczyn ten nazywa się *pracą siły*. Z równoważności siły żywej i pracy mechanicznej wynika, że każda siła żywa jest równa pracy, przez którą została wytworzoną i nawzajem, gdy siła żywa pewnej, poruszającej się masy zostaje zniszczoną, to jest gdy prędkość tej masy staje się równą zeru, wtedy powstaje równoważny jej zasób pracy. W kamieniu wzniesionym na daną wysokość nagromadzony jest pewien zasób pracy, złożony tam przez siłę, która go na tę wysokość wyniosła, gdy zaś kamień spada, praca przetwarza się w siłę żywą, którą znów możemy zużytkować na wykonanie pewnej pracy. Często bardzo praca tak wytworzona jest bezpośrednio widoczna, jeżeli np. siła żywa zużywa się na

poruszenie całych mas lub ich części; wyraźna jest ona i wtedy, gdy przechodzi w drgający ruch cząstek ciała i objawia się jako ciepło. Lecz chociaż nie zawsze możemy ją odczuć zmysłami naszemi, to jednak nie ulega wątpliwości, że siła żywa zawsze wytwarza albo pracę mechaniczną, albo inną siłę żywą. Gdy serce dzwonu uderza o jego ściany, ruch serca zostaje wstrzymany, lecz siła uderzenia nie niknie, gdyż wprowadza ona dzwon w drgania, które udzielają się powietrzu, to ostatnie z kolei doprowadza je do naszych nerwów słuchowych i powoduje w nas wrażenie dźwięku. To samo ma miejsce, gdy uderzamy młotem w ołowianą kulę: ruch młota zostaje wstrzymany, lecz nie zniszczony, udziela się on atomom ołowiu i ukazuje się jako ciepło. Tyndall upuszczał z sufitu na podłogę ołowianą kulę, uczepioną na sznurku i za pomocą termomultyplikatora udowodnił, że po czterech spadkach metal się ogrzał. Ciepło to zawdzięczać należało zniszczeniu siły pędu, jaką kula posiadała w chwili uderzania o podłogę, innemi słowy ruch mechaniczny całej masy ołowiu stał się ruchem jego atomów.

Zniszczenie ruchu widzialnego wytwarza ciepło oczywiście i wówczas, kiedy ciało nie siłą ciężkości, lecz innym jakim sposobem zostaje w ruch wprawione. Kula karabinowa, uderzając o tarczę, rozgrzewa się także i jeżeli znamy prędkość kuli, to—jak wkrótce zobaczymy — możemy dokładnie obliczyć ilość ciepła wytworzonego przy tem. Ponieważ z prędkości i ciężaru ciała w ruchu można obliczyć ilość ciepła, jaka powstałaby ze zniszczenia siły poruszającej go, to ze znanego ciężaru ziemi oraz ze znanej prędkości, z jaką się ona porusza w przestrzeni, jesteśmy w stanie obliczyć ilość ciepła, jaka by się wytworzyła, gdyby ziemia została zatrzymaną w swym biegu. Mayer i Helmholtz obliczyli, że powstałe przez podobne uderzenie ciepło nietylko stopiłoby ziemię, lecz że większą jej część obróciłoby w parę. Ilość wywiązanego w tym wypadku ciepła równałaby się ilości, jakaby powstała ze spalenia czternastu kul węglowych, równych ziemi. A gdyby ziemia przez podobne wstrzymanie jej ruchu upadła na słońce, co bezwątpienia miałoby miejsce, to uderzenie takie wytworzyłoby tyle ciepła, ileby go się

wywiązało ze spalenia 5600 kul węglowych, wielkich jak ziemia. [1]).

Jeżeli wyobrazimy sobie zamknięty system mas, który z zewnątrz nie otrzymuje żadnej pracy, to wszelkie w nim zmiany mogą powstawać przez to tylko, że nagromadzone w nim siły prężne, czyli potencyalne, przechodzić będą w siły żywe, czyli cynetyczne i naodwrót. W systemacie takim *suma sił żywych i sił prężnych jest ilością stałą.* Ponieważ jednak systematu tak oderwanego od mas poza nim leżących nie ma w naturze, przeto zasada powyższa, ściśle mówiąc, stosować się tylko może do układu wszechświata. Zasada więc zachowania energii znaczy, że zapas energii w przyrodzie jest niezmienny, że żadna energia wytworzoną z niczego, ani też zniszczoną być nie może; gdziekolwiek energia jaka pozornie ginie, tam w rzeczywistości przetwarza się ona tylko w energię innego rodzaju. Zobaczymy w następnej księdze, że elektryczność, wywołana przez działanie mechaniczne w maszynie elektrycznej, powoduje ruchy, rozkłady chemiczne, zjawiska dźwięku, światła, ciepła i magnetyzmu. Zasadę zachowania energii w całej jej ogólności pierwszy wypowiedział niemiecki lekarz z Heilbronu Mayer w roku 1842, on też zastosował ją do zjawisk cieplnych; następnie Helmholtz (1847) rozwinął ją i ugruntował, dowodząc, że sprawdza się ona we wszystkich zjawiskach i prawach fizycznych.

W obec zasady zachowania energii nie mogło w żaden sposób ostać się pojęcie, że ciepło jest materyą. Widzieliśmy wyżej w jaki sposób materyalna teorya ciepła objaśniała wytwarzanie się jego przez tarcie i uderzenie. Otóż objaśnienie to staje się niemożliwe, skoro przyjmujemy, że powstające przy tych zjawiskach ciepło jest tylko przekształconą siłą żywą. Jeżeli ciepło objawia się dzięki zużyciu pewnej ilości pracy, to nie może ono być materyą. W istocie gdy zasada zachowania energii pozyskała ogólne uznanie, pogląd o materyalności ciepła został odrzucony tak, że obecnie dynamiczna teorya panuje powszechnie. Teorya ta stanowi konieczny wynik zasady zachowania energii i posia-

---

[1]) Tyndall, l. c.

da dla nas tęż samą pewność, co owa zasada. Jedynie co do *rodzaju* ruchu, objawiającego się jako ciepło, nie mamy pewności, pod tym bowiem względem możemy tworzyć tylko mniej lub więcej prawdopodobne hypotezy. Istnieją tutaj dwie możliwości: albo ciepło polega jedynie na ruchu eteru, znajdującego się we wszystkich ciałach, albo też na ruchu eteru i materyalnych cząsteczek. Pierwsze przypuszczenie, wygłoszone jeszcze przez Newtona, zostało w naszych czasach rozwinięte przez Redtenbachera, prostszą jednak jest druga hypoteza, że ciepło, odczuwane przez nas, polega na ruchu samych cząsteczek ciał. Hypotezę tę przyjmowała większość starszych fizyków, ona też obecnie także prawie ogólnie jest przyjęta.

Wypada nam teraz zbadać stosunek między ciepłem, powstałem wskutek mechanicznej pracy i ilością tej ostatniej, jaka się przytem zużyła. Nie w jednym umyśle istniało pojęcie o tym stosunku, zanim jeszcze zdołano go dokładnie zrozumieć i poprzeć ścisłemi dowodami. Już Montgolfier nosił się z myślą o równoważności ciepła i pracy mechanicznej, a w roku 1839 Séguin rozwinął jego poglądy w dziele „o wpływie kolei żelaznych.“ Należy tylko zastanowić się nad procesami organicznemi, nad stosunkiem sił, zawartych w pokarmach, do siły mięśniowej, aby dojść do wniosku, że pomiędzy temi siłami istnieje wzajemna zależność. Nic więc dziwnego, że pierwszy, który wpadł na myśl równoważności ciepła i siły mechanicznej, był to jak powiedzieliśmy, lekarz. Aby jednak domysły zostały potwierdzone, należało się przekonać, czy pomiędzy pracą zużytą, a wytworzonem ciepłem rzeczywiście istnieje równoważność, to jest czy jedna i ta sama ilość pracy wytwarza zawsze jednę i tę samą ilość ciepła. Jednostką do mierzenia pracy jest *kilogrammetr*, czyli praca potrzebna do podniesienia 1 kilograma na wysokość 1 metra, za jednostkę zaś ciepła przyjmujemy tę ilość, która ogrzewa 1 kilogram wody na 1^0 (duża ciepłostka). Zadanie polegało więc na zbadaniu, czy określona ilość *zużytych kilogrammetrów* odpowiada zawsze jednej i tej samej ilości *wytworzonych ciepłostek.* Otóż Mayer pierwszy wykazał, że taki stały stosunek między ciepłem i pracą rzeczywiście istnieje, obliczył mianowicie „mechaniczny

równoważnik ciepła" i z zasady tej wysnuł najśmielsze wnioski. Najrozleglejsze jednak badania nad tym przedmiotem przeprowadził Joule z Manchesteru (1843), którego pracę można uważać za współczesną z pracą Mayera. Badał on zupełnie niezależnie od niemieckiego uczonego i pracował wytrwale w celu udowodnienia, że między ciepłem i pracą mechaniczną istnieje stały stosunek. Wlewał wodę do odpowiednio przygotowanego naczynia, obracał ją kołem skrzydlatem i oznaczał ilość ciepła, wytworzorzonego ruchem wody oraz ilość pracy na to zużytej. Podobne doświadczenia wykonywał z tranem i rtęcią. Pocierał także jedną o drugą dwie płyty żalazne i obliczał ilość siły zużytej na przezwyciężenie tarcia oraz ilość ciepła, jaka przytem powstawała. Przepuszczał wodę przez rurki włoskowate i obliczał ciepło, wytworzone tarciem cieczy o ściany rurek. We wszystkich tych doświadczeniach pewna ilość siły wytwarzała tę samą ilość ciepła, bez względu na to, czy zużywano ją na tarcie płyt żelaznych, lub na obracanie koła w wodzie, rtęci lub tranie. Oczywiście, że w końcu doświadczenia temperatura była różna w każdym oddzielnym wypadku; temperatura np. wody wynosiła zaledwie $1/_{30}$ temperatury rtęci. Joule w obliczeniach swoich uwzględniał jednak rozmaite ciepło właściwe dla różnych ciał i odkrył, że pomimo tej różnicy w temperaturze bezwzględna ilość ciepła, przy zużyciu tej samej pracy, była we wszystkich wypadkach jednakowa.

W celu mierzenia ciepła, wytworzonego przez tarcie stałych ciał i porównania go z zużytą pracą, Joule posługiwał się następującym przyrządem. Na żelaznej osi *aa* (fig. 477) osadzony był

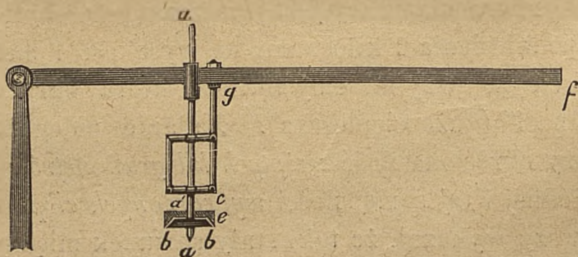


Fig. 477. Część przyrządu Joule'a.

mocno żelazny krążek *bb*, który obracał się wraz z nią, brzeg jego ścięty był stożkowato. Za pomocą dźwigni *fgc d* można było do krążka *b* przyciskać silnie drugi krążek *e*. Całe to urządzenie zamknięte było w żelaznem naczyniu *G* (fig. 478), w po-

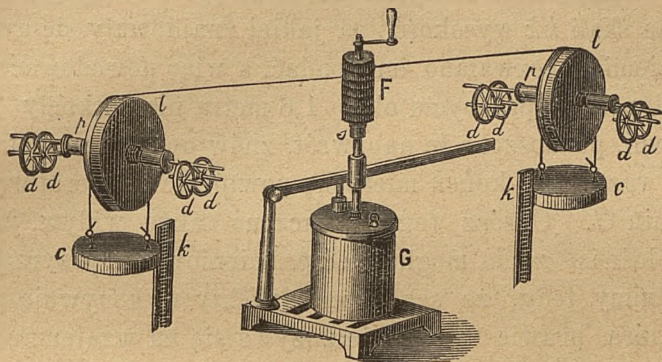


Fig. 478. Przyrząd Joule'a.

krywie którego znajdowały się trzy otwory: przez jeden, środkowy przechodziła oś *a a*, przez drugi — pręt *g c*, trzeci wreszcie pozwalał wprowadzać do wnętrza naczynia termometr. Samo naczynie umieszczone było na drewnianym stole, którego tafla składała się z krat, przez co stykało się ono z drzewem w niewielu punktach. Na osi *a* osadzono drewniany walec *F*, który można było za pomocą sztyfcika *s* silnie do niej przymocować; na walec zaś nawinięto dwa sznury w ten sposób, że przy ich wyciąganiu oś *a* i osadzony na niej krążek *b* obracały się. Sznury dochodziły do dwóch bloków *ll*, mających w średnicy około 30 centym. i 5 centym. szerokości, dla zmniejszenia tarcia osie bloków spoczywały na skrzyżowaniach bloczków *dd*. Na osiach *pp* przechodzących przez bloki zawieszono na sznurach gwichty *c c*; przy spadaniu tych ostatnich sznury się odwijały, przez co osie *pp* i wraz z niemi bloki poczynały się obracać. Ponieważ z kolei bloki połączone były za pomocę sznurów z osią części przyrządu, służącej do tarcia, to przy obracaniu się bloków obra-

cała się również i ta część. Waga gwichtów w pojedyńczych doświadczeniach była rozmaita.

Doświadczenia urządzano w następujący sposób. Po zatrzymaniu osi *aa* przyrządu, obracano walec *F* tak, ażeby gwichty poszły w górę, przymocowywano walec do osi i określano temperaturę rtęci w żelaznem naczyniu *G*. Następnie odczytywano dokładnie na skali *kk* wysokość, na jakiej znajdowały się gwichty po nad ziemią, pozwalano im spadać, a więc powodować tarcie krążka, dopóki po przebyciu około 1,6 metra nie dotknęły podłogi pracowni, podnoszono je napowrót, znów opuszczano i tak dalej ze 20 razy. W końcu mierzono powtórnie temperaturę rtęci w naczyniu *G*. Oprócz tego oznaczono także wpływ, jaki na rezultat doświadczenia mogło mieć promieniowanie przyrządu.

Widzimy tedy, że spadające gwichty wykonywują pewną pracę, która prawie całkowicie zużywa się na wzajemne tarcie krążków. Z ciężaru gwichtów i wysokości spadku oblicza się pracę w kilogrammetrach, jaką potrzebaby zużyć na podniesienie gwichtów do poprzedniej wysokości; przez co otrzymuje się ilość pracy, jaką one wykonały. Porównawszy następnie — po dokonaniu pewnych poprawek — ilość tę z ilością ciepła, wytworzonego przez tarcie, oblicza się ilość pracy, potrzebną do wytworzenia jednej ciepłostki. Zmieniając w rozmaitych doświadczeniach czas trwania spadku, albo wagę gwichtów i obliczając z każdego z nich ilość pracy potrzebnej do wytworzenia jednej ciepłostki, otrzymuje się wartości jednakowe, co dowodzi, że wytworzona ilość ciepła jest proporcyonalna do wykonanej pracy. Jeden szereg doświadczeń dał następujący rezultat: *ażeby ogrzać jeden kilogram wody na 1° C. czyli ażeby wytworzyć jedną ciepłostkę potrzeba zużyć 426,29 kilogrammetrów pracy.* Inny szereg z dziesięciu doświadczeń, w których zmieniono wagę spadających gwichtów i wysokość spadku, wykazał, że mechaniczny równoważnik jednej ciepłostki jest równy 425,12 kilogrammetrom. Ilość ciepła, wytworzonego przez tarcie wody lub rtęci, jeszcze lepiej dowodzi, że jest ona proporcyonalna do ilości zużytej pracy. Zupełnie to samo wynika z licznych i różnorodnych doświadczeń Hirna, który po części według metody Joule'a, po

części zaś według innych metod, obliczał ilość pracy mechanicznej, jaką potrzeba zużyć do wytworzenia jednostki ciepła. Przez tarcie wody w przyrządzie, podobnym do przyrządu Joule'a, otrzymał on liczbę 432 kilogrammetrów, przez tarcie zaś wody w wązkich rurkach, przez które przepychano ją z wielkiem ciśnieniem, otrzymał liczbę 433 kilogrammetrów. Wreszcie z doświadczeń, w których masy ołowiane ulegały wskutek silnego uderzenia przekształceniu, Hirn otrzymał rezultat, prawie identyczny z tym, jaki znalazł Joule.

W nowszych czasach Rowland przedsięwziął nadzwyczaj staranne badania nad mechanicznym równoważnikiem jednej ciepłostki. Rozbiera on krytycznie prace swych poprzedników, specyalnie prace Joule'a i zwraca uwagę, że niepewność rezultatów, podanych przez niego, wynika z niedokładności pomiarów termometrycznych. Dlatego też rozpoczął on nowe pomiary, posługując się przytem metodą, podobną w zasadzie do metody Joule'a, lecz o wiele potężniejszą, tarcie bowiem wody odbywało się za pośrednictwem koła, obracanego przez maszynę parową. Podług mierzeń Rowlanda, mechaniczny równoważnik jednej ciepłostki wynosi 427 kilogrammetrów.

§ 3. Objaśnienie zjawisk ciepła właściwego i utajonego.

Widzieliśmy tedy w poprzednim paragrafie, że obecnie nauka uważa ciepło jako objaw cząsteczkowego ruchu ciał. Przy wytwarzaniu ciepła przez pracę ruch całych mas, czyli ruch widoczny, przeobraża się w niedostrzegalny ruch najdrobniejszych cząstek. Chociaż bowiem potężny, ruch ten jest tak drobny, przestrzenie zaś po których cząstki krążą, są tak małe, że dostrzedz go nie możemy. Im większa jest siła żywa cząstek danego ciała, tem wyższa jest jego *temperatura*, nie całe jednak ciepło ciału dostarczone obraca się na podniesienie jego temperatury, część bowiem ciepła zużywa się na doprowadzenie cząstek do tego wzajemnego ich względem siebie położenia, w jakim przy danej temperaturze się znajdują, innemi słowy zostaje spotrzebowana na przezwycię-

żenie przyciągania międzycząsteczkowego. W ciałach stałych, gdzie spójność pomiędzy cząsteczkami jest znaczna, wyobrażamy sobie, że są one ożywione ruchem, zachodzącym w pewnych granicach, czyli że drgają około określonego dla każdej z nich położenia. Ponieważ im więcej ciepła udzielamy ciału, tem szybszy jest ruch jego cząsteczek i tem pełniejsze ich drgania, wnosimy z tego, że one starają się bezustannie oddalić się od siebie, ażeby powiększyć objętość ciała. Wiemy, że w ogóle taki w istocie jest skutek ciepła, udzielonego ciału, pod wpływem ogrzewania rozszerza się. A więc spójność i ciepło, są to dwa sprzeczne czynniki, od których zależy czasteczkowa budowa ciała.

Gdy ogrzewamy dane ciało, to każdy nowy dopływ ciepła powoduje coraz większe wzajemne oddalanie się jego cząsteczek, poczem spójność słabnie coraz bardziej, w miarę jak przestrzeń pomiędzy niemi powiększa się. Wreszcie wyswobadzają się o tyle z pod wpływu tej siły, że mogą nietylko drgać w pewnej granicy od średniego swego położenia równowagi, lecz mogą także biedz jedne mimo drugich, a nawet jedne po drugich, odbywają więc ruchy częścią drgające, częścią postępowe. Jakkolwiek spójność nie jest tutaj zupełnie zniweczona, to jednak jest tak osłabiona, że ruchliwość cząsteczek w pewnych kierunkach nie znajduje już żadnej przeszkody. Jest to przejście ze stałego stanu materyi w stan ciekły.

Wewnątrz cieczy ruchowi każdej cząsteczki przeszkadzają otaczające ją sąsiadki, lecz jeżeli wywiążemy w tej masie dość znaczne ciepło, wtedy cząsteczki jeszcze bardziej uwolnią się od wpływu spójności i oddalą się pod postasią pęcherzyków pary. To znów stanowi przejście ze stanu ciekłego w lotny.

Chcąc uzmysłowić słuchaczom swoim wypowiedziane tutaj zasady, Tyndall wykonywa doświadczenie z ciężarem uwieszonym na spiralnej sprężynie, który obraca nad sobą. Przy obracaniu ciężar oddala się od niego i sprężyna prostuje się na pewnej długości; przy szybszym ruchu obrotowym sprężyna jeszcze bardziej się prostuje i zwiększa odległość ciężaru od ręki eksperymentatora. Jeżeli wyobrazimy sobie, że ruch zostanie przyśpieszony o tyle, iż spowoduje pęknięcie sprężyny, wtedy ciężar

odleci po linii stycznej do drogi, jaką opisywał. Przedstawiałby on wtedy cząsteczkę uwolnioną przez ciepło z pod wpływu spójności, wyobrażonej w danym przykładzie przez sprężynę.

Co do ruchu cząsteczkowego w gazach istnieje pogląd popierany przez Joule'a, Kröniga, Maxwella i Clausius'a, że cząsteczki gazów przebiegają przestrzeń po linii prostej, czyli że odbywają ruchy postępowe i biegną dopóki nie uderzą o ścianę naczynia lub o inne cząsteczki, od których się odbijają. Na podstawie teoryi ruchu prostolinijnego nietrudno nawet oznaczyć przecięciową prędkość, z jaką poruszają się cząsteczki rozmaitych gazów; Clausius oznaczył ją dla tlenu, azotu i wodoru, Joule zaś jeszcze w roku 1848 znalazł, że prędkość cząsteczek wodoru wynosi około 2000 metrów na sekundę. Według tej teoryi nadymanie się pęcherza, w połowie wypełnionego powietrzem i umieszczonego pod próżnym kloszem maszyny pneumatycznej (patrz str. 142) stanowi rezultat uderzeń cząsteczek o wewnętrzną ścianę pęcherza. Jeżeli wpuścimy powietrze do klosza, pęcherz znów się skurczy wskutek parcia cząsteczek powietrza na jego zewnętrzną powierzchnię, które tak długo zmuszają zamknięte w pęcherzu cząsteczki do skupiania się, dopóki parcie zewnętrzne i wewnętrzne nie zrównoważą się. Jeżeli zamiast położyć pęcherz pod opróżniony klosz maszyny, wystawimy go na działanie ciepła, wzmożemy przez to energię uderzeń cząsteczek zawartego w nim gazu; będą one tak gwałtownie uderzały o wewnątrzną ścianę pęcherza, że ten również nadmie się. Widzimy tedy, że prężność gazu powiększa się w miarę *powiększania siły żywej jego cząsteczek czyli w miarę podwyższania jego temperatury.*

Jeżeli zamkniemy gaz w naczyniu o nieuginających się ścianach, to jest zachowamy stale pierwotną jego objętość i poczniemy go ogrzewać, to każdemu stopniowi przyrostu temperatury będzie odpowiadał pewien określony przyrost prężności. Doświadczenie pokazuje, że począwszy od 0^0 C., każde ogrzanie na jeden stopień powoduje powiększenie prężności równe $^1/_{273}$ prężności, jaką gaz posiadał przy 0^0; ogrzewając tedy gaz na 273^0, podwajamy jego prężność. Przyjąwszy, że to samo prawo rzą-

dzi poniżej zera, czyli że obniżając temperaturę gazu, począwszy od 0°, zmniejszamy jego prężność albo energię ruchu cząsteczkowego o $^1/_{273}$ pierwotnej prężności na każdy stopień odjętego ciepła, to gdy obniżymy temperaturę gazu o 273°, nie pozostanie nic z jego prężności. Ruch cząsteczkowy ustanie zupełnie i ciało będzie bezwzględnie zimne, to jest nie będzie wcale posiadało ciepła; otrzymamy to, co nazwano *bezwzględnem* czyli *absolutnem zerem temperatury.*

Widzieliśmy w poprzednim paragrafie, że w miarę znikania energii możliwej czyli potencyalnej ujawnia się energia żywa albo cynetyczna i że suma obu tych energij we wszechświecie jest stała. Jak nie można stworzyć, ani zniszczyć materyi, tak nie można stworzyć ani zniszczyć energii, wszystkie bowiem zjawiska polegają jedynie na przeobrażaniu się jednej postaci energii w drugą. Gdy podnosimy ręką ciężar, wykonywamy mechaniczną pracę, lecz zużywamy w innej formie równoważną ilość energii, a jak zobaczymy następnie, energią tą w danym razie jest cieplo. To samo miałoby miejsce, gdybyśmy ciężar podnieśli za pomocą parowej maszyny; w tej ostatniej zużyłaby się pewna ilość ciepła, równoważna wykonanej pracy. Im większa jest siła ciężkości, przyciągająca ów ciężar ku ziemi, tem więcej zużywa się ciepła przy podnoszeniu go, albowiem im silniejsze jest przyciąganie, tem więcej potrzeba energii, ażeby je przezwyciężyć, podobnie jak im cięższe ciało spada na ziemię, tem większa ilość ciepła powstaje.

Przenieśmy obecnie te pojęcia od wielkich mas do nieskończenie małych, a mianowicie do najdrobniejszych cząsteczek ciał. Wywierają one na siebie wzajemnie olbrzymie przyciąganie i chcąc oddalić je od siebie, to jest chcąc powiększyć przestrzenie międzycząsteczkowe w ciele stałem lub ciekłem tak, ażeby ono znacznie powiększyło swą objętość, potrzebaby zużyć nader wielką mechaniczną siłę. Otóż ciepło jest w stanie wykonać to, czemu nie podoła mechaniczna siła, zastosowana w zwykły sposób. Wiemy, że ciało pod wpływem ogrzewania rozszerza się, rozszerzanie to zaś o tyle tylko ma miejsce, o ile zostało przezwyciężone przyciąganie międzycząsteczkowe. Ponieważ zaś przyciąganie

to, jak powiedzieliśmy, jest olbrzymie, więc i ilość ciepła, potrzebna do jego przezwyciężenia, musi też być nader wielka.

Wspomnieliśmy już wyżej, że nie wszystko ciepło udzielone ciału obraca się na podniesienie jego temperatury, część bowiem zużywa się na nadanie cząsteczkom nowego położenia i ta część ginie jako ciepło. Otóż zbadajmy nieco bliżej to zjawisko. Oddzielanie cząsteczek ciała ma się w danym razie do ich wzajemnego przyciągania zupełnie tak samo, jak podnoszenie ciężaru do siły ciężkości, rezultatem bowiem obu zjawisk jest utrata ciepła. Przypuśćmy, powiada Tyndall, że zużywając pewną ilość siły przy podnoszeniu ciężaru, rozdzieliliśmy ją na dwie części, z których jedną obracamy na podnoszenie go, drugą zaś na to, ażeby podczas wznoszenia wprawiać go w coraz szybszy ruch wahadłowy. Byłoby to zupełnie analogiczne do udzielania ciepła danemu ciału: cząsteczki jego oddalają się od siebie, lecz oddalając się drgają ze wzrastającą prędkością. Ciepło zatem, udzielone ciału, rozpada się na dwie części: jedna przeobraża się w energię możliwą cząsteczek, druga zaś powiększa ich siłę żywą i ta ostatnia jedynie daje się odczuć za pomocą termometru. Ta część ciepła, która zużywa się na nadanie cząstkom nowego położenia wykonywa tak zwaną *pracę wewnętrzną*; gdy zaś ciało oziębia się, odzyskuje siły przezwyciężone przy ogrzewaniu, ciepło zaś zużyte na odsunięcie cząsteczek ujawnia się napowrót przy ich zbliżeniu.

Wiadomo z chemii, że jeżeli wagę jednego atomu wodoru przyjmiemy za 1, to waga jednego atomu tlenu równa 16, jednego atomu azotu 14 i t. d. Inaczej mówiąc na gram wodoru idzie 16 razy więcej atomów, niż na gram tlenu, 14 zaś razy więcej, niż na gram azotu. Otóż doświadczenia Dulong'a i Petit'a oraz badania Regnault'a i Neumann'a, doprowadziły do odkrycia prawa, że *atomy ciał prostych, cięższe lub lżejsze, posiadają przy jednakowej temperaturze jednakową siłę żywą, objawiającą się jako ciepło.* Ponieważ siła żywa poruszającego się ciała zależy od jego masy i jego prędkości, wynika z tego, że atomy lżejsze wynagradzają brak masy większą prędkością ruchu. Przy tej samej więc temperaturze atom wodoru posiada tę samę siłę żywą

co atom tlenu lub atom azotu, ponieważ jednak gram wodoru zawiera np. 16 razy więcej atomów, niż gram tlenu, musi więc przy tej samej temperaturze zawierać także 16 razy więcej ciepła. Wynika z tego, że chcąc podnieść temperaturę grama wodoru o pewną liczbę stopni, potrzeba 16 razy więcej ciepła, niż do podniesienia w jednakowych warunkach temperatury grama tlenu o taką samą ilość stopni. Naodwrót także obniżając temperaturę grama wodoru o pewną liczbę stopni pozbawiamy go 16 razy tyle ciepła, co przy obniżaniu o taką samą liczbę stopni temperatury grama tlenu.

W gazach, jak np. w tlenie i wodorze, gdzie przyciąganie międzycząsteczkowe stawia bardzo słaby opór, praca wewnętrzna jest prawie nieznaczna. Lecz w ciałach stałych i w cieczach, oprócz różnicy w liczbie atomów, zawartych w danej jednostce wagowej, mamy jeszcze różnicę w cieple, zużytem na pracę wewnętrzną.

W obec wyłożonych tutaj zasad stają się zupełnie jasne różnice w cieple właściwem rozmaitych ciał (porównaj str. 781). Czytelnik przypomina sobie, że jeżeli weźmiemy *równe* ciężary rozmaitych ciał, ogrzejemy je na 100^0 i następnie oznaczymy dokładnie ilość ciepła, jaką każde z nich oddaje przy oziębieniu od 100^0 do 0^0, przekonamy się, że ilość ta dla każdego ciała będzie inna. Zwolennicy materyalnej teoryi ciepła różnicę tych liczb tłomaczyli twierdząc, że jedno ciało posiada większy zapas cieplika, aniżeli drugie. Ze stanowiska zaś dynamicznej teoryi, różnice te objaśniamy niejednakową pracą wewnętrzną, wykonaną przez dostarczone ciału ciepło oraz niejednakową wagę atomową ciał. Ciepło właściwe bowiem jest tem większe, im mniejsza jest waga atomowa i naodwrót tak, że *iloczyn z ciepła właściwego przez wagę atomową jest ilością stałą* dla wszystkich prawie ciał. Zasada ta nosi w nauce nazwę prawa Dulong'a i Petit'a. Objaśnia ono i potwierdza powyższe przypuszczenie, że lżejsze atomy wynagradzają prędkością ruchu to, czego brak im na masie.

Widzieliśmy, że ciało stałe, ogrzane dostatecznie, przechodzi w stan ciekły, ciecz zaś, dostatecznie ogrzana przechodzi

w stan lotny. Wiemy dalej, że np. temperatura topniejącego lodu i wrzącej wody jest stała, bez względu na to, czy silniej lub słabiej je ogrzewamy. Lecz przypominamy sobie, że aby stopić daną ilość lodu, zużywamy tyle ciepła, wiele potrzeba go do podniesienia temperatury takiej samej ilości wody o 79,4° C. Tak samo chcąc zamienić kilogram wody o temperaturze 100° w kilogram pary o takiej samej temperaturze, należy zużyć 537,2 razy tyle ciepła, wiele potrzeba go do podniesienia o 1° temperatury kilograma wody. Liczba 79,4° C. przedstawia tak zwane ciepło utajone wody, liczba zaś 537,2° C. ciepło utajone pary wodnej. Nazwa *utajone* pochodzi właściwie ztąd, że zwolennicy materyalnej teoryi widząc, iż ciepło dodane do topniejącego lodu i wrzącej wody nie ujawnia się na termometrze, przypuszczali, iż ono się utaja. Według ich mniemania ów cieplik krył się w jakiś niezrozumiały sposób w międzycząsteczkowych przestrzeniach wody i pary wodnej. Tymczasem dynamiczna teorya twierdzi, że ciepło zużyte do stopienia lodu przeobraża się w energię możliwą cząsteczek, wykonywa ono bowiem pracę, podobną do podnoszenia ciężarów. Przy zamianie wody w parę, ciepło również zużywa się na oddzielenie cząsteczek, nadając im jeszcze większą ilość energii możliwej. Jeżeli odejmiemy parze udzielone poprzednio ciepło, para skropli się, ponieważ jednak przytem cząsteczki jej uderzają jedne o drugie z pewną siłą żywą, równą tej, jaką zużyto do ich oddzielenia, ujawnia się napowrót cała ilość ciepła utajonego przy przejściu wody w parę. Przejście ze stanu stałego w ciekły jest rodzajem pracy wewnętrznej, która polega na odpowiedniem ułożeniu cząsteczek ciała, różnem od poprzedniego; przejście ze stanu ciekłego w lotny także przeważnie zasadza się na wewnętrznej pracy, należy jednak dodać tutaj pracę zewnętrzną, zużytą na odpychanie cząsteczek powietrza w chwili, gdy ciecz staje się parą.

Staraliśmy się tedy objaśnić czytelnikowi objawy ciepła właściwego i ciepła utajonego tak, jak je obecnie nauka pojmuje. Zatrzymamy się jeszcze chwilkę nad promieniowaniem i pochłanianiem ciepła. Początkiem promieniowania są drgania naj-

drobniejszych cząsteczek materyi, które przejmuje eter i rozprzestrzenia w kształcie fal. Oczywiście, że drgania wywołane w eterze zależą od własności drgających cząsteczek: jedne np. mogą być bardziej ruchliwe, aniżeli drugie tak, że możemy przyjąć, iż cząsteczki rozmaitych ogrzanych ciał powodują niejednakowe drgania eteru. Niektóre z nich udzielają mu więcej ruchu, aniżeli inne, to znaczy, że jedne ciała promieniują silniej od drugich, albowiem jak powiedzieliśmy *promieniowanie jest to udzielanie ruchu pojedyńczych cząsteczek ogrzanego ciała eterowi, w którym one są pogrążone i w którym ten ruch się rozchodzi.* Jeżeli dodamy, że z tego samego punktu rozpatrywane *pochłanianie ciepła jest udzielaniem ruchu eteru cząsteczkom ciała*, to nie trudno nam już będzie zrozumieć opisany w jednym z poprzednich rozdziałów stosunek pomiędzy własnością ciał pochłaniania i promieniowania ciepła, polegający na tem, że ciała silnie promieniujące, silnie także pochłaniają, te zaś, które słabo promieniują, pochłaniają też mało. Jeżeli bowiem dane ciało posiada w wysokim stopniu własność pochłaniania przenikających przez nie fal eteru, czyli innemi słowy, jeżeli cząsteczki tego ciała są tak nastrojone, że mogą przejmować ruch ten w znacznej mierze, to naodwrót także, gdy są one już w ruch ten wprawione, mogą go obficie udzielać eterowi.

Widzieliśmy w księdze o świetle, że niektóre ciała są przezroczyste, to znaczy, że fale świetlne przenikają przez nie, nie udzielając im ruchu, który je ożywia. Wiemy dalej, że w ciałach zabarwionych pewne fale ulegają pochłonięciu, te zaś, które nadają barwę ciału, przechodzą swobodnie. Lecz własność przepuszczania fal pewnej długości nie pociąga za sobą koniecznie własności przepuszczania fal o innej długości, czyli inaczej przezroczystość dla światła nie zawsze chodzi w parze z przezroczystością dla ciepła, albo z przecieplnością. W istocie doświadczenia, jak widzieliśmy, w zupełności potwierdzają ten wniosek.

§ 4. Słońce jako źródło ciepła. Palenie.

Najważniejszem źródłem ciepła dla ziemi jest słońce. John Herschell na przylądku Dobrej Nadziei i Pouillet w Paryżu oznaczali natężenie promieni słonecznych, padających na ziemię. Pouillet posługiwał się do tego przyrządem, nazwanym przez niego *pyrheliometrem* (fig. 479). Promienie słoneczne padają najprzód

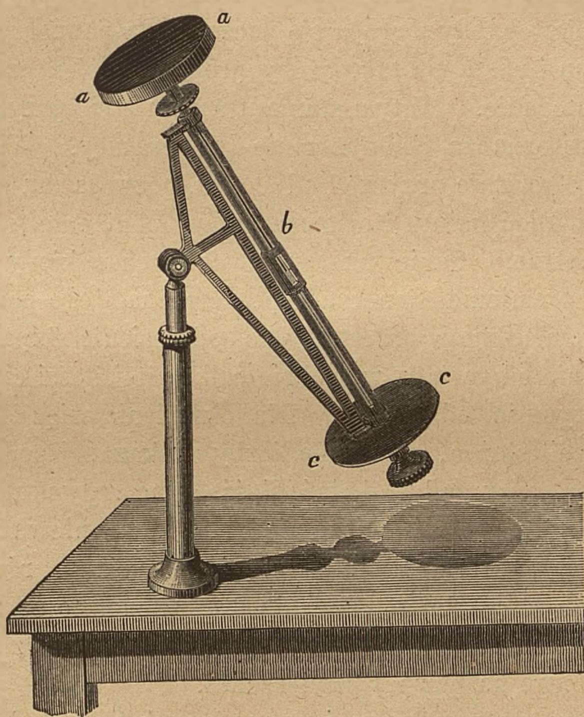


Fig. 479. Pyrheliometr Pouillet'a.

na poczernioną pokrywę bardzo płaskiego naczynia walcowatego *aa* z cienkiej blachy srebrnej, napełnionego wodą. W wodzie zanurzony jest zbiornik termometru *b*, którego rurka, przechodząca przez korek w dnie naczynia, otoczona jest mosiężnym rękawem ze szczeliną, pozwalającą odczytywać wskazówki termometru. Na drugim końcu rękawa znajduje się tarcza *cc*, któ-

rej średnica jest dokładnie równa średnicy walcowatego naczynia; tarcza ta pozwala wiedzieć, kiedy mianowicie promienie słoneczne padają akurat prostopadle na poczernioną powierzchnię naczynia *aa*, wtedy bowiem cień od tego ostatniego pokrywa dokładnie tarczę. Rozpoczynając spostrzeżenia, nie wystawia się przyrządu odrazu na działanie słońca, ale obraca go na pięć minut w przeciwną stronę horyzontu, niezasłoniętą obłokami, a to dlatego, ażeby wypromieniował swoje własne ciepło i oznacza następnie spowodowane przez to obniżenie słupa rtęci w termometrze. Dopiero wtedy zwraca się poczernioną powierzchnię walca ku słońcu i nastawia tak, ażeby promienie słoneczne padały na nią prostopadle. W tym stanie utrzymuje się przyrząd przez pięć minut i oznacza podwyższenie temperatury. Wreszcie odwraca się powtórnie przyrząd od słońca, pozwala mu promieniować przez pięć minut i oznacza znów obniżenie słupa rtęci w termometrze. Ponieważ przez cały czas kiedy przyrząd otrzymuje promienie słoneczne, poczerniona jego powierzchnia również promieniuje w przestrzeń, to podniesienie słupa termometrycznego nie odpowiada właściwie całkowitej ilości ciepła, jaką walec otrzymuje od słońca. Dla określenia więc istotnej siły ogrzewającej słońca, należy do liczby wskazanej podniesieniem temperatury przyrządu, dodać ilość straconą wskutek promieniowania, którą to ilość oblicza się osobno. Ponieważ wielkość powierzchni, na którą padają promienie słoneczne, również jak i ilość wody, zawartej w naczyniu, są znane, to na mocy podwyższenia temperatury tej cieczy, można oznaczyć działanie ciepła słonecznego na pewnej powierzchni.

Podobne obserwacye robiono w różnych porach dnia, poczynając od południa, kiedy promienie słoneczne przebywały najmniej grubą warstwę atmosfery ziemskiej i kończąc o szóstej wieczorem, kiedy przebywały najgrubszą warstwę. Z doświadczeń tych okazało się, że natężenie ciepła słonecznego zmniejsza się w miarę jak wzrasta grubość atmosfery, przez którą przechodzą promienie słoneczne. Głównym czynnikiem pochłaniania jest para wodna w atmosferze, a nie samo powietrze. Jeżeli uwzględnimy całą półkulę ziemską, obróconą ku słońcu, to ilość

Дозволено Цензурою. Варшава 21 Апрѣля 1889 г.

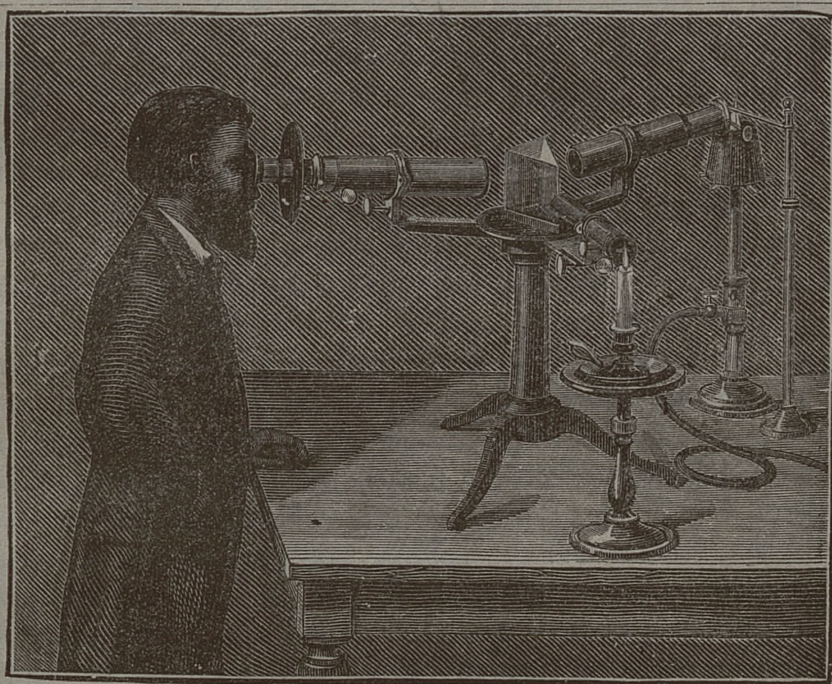
Druk Jana Cotty w Warszawie, Senatorska 29.

CENA 20 KOP. **Zeszyt 28.** CENA 20 KOP.

SIŁY PRZYRODY.

POPULARNY WYKŁAD FIZYKI

I GŁÓWNIEJSZYCH JEJ ZASTOSOWAŃ.



Spektroskop

Podług dzieła A. Guillemin'a „Le monde physique"

OPRACOWALI

Józefowa Nusbaum

bak. n. prz.

i

Henryk Silberstein

dr. fil., b. as. chem. przy un. w Bernie.

WARSZAWA.

Nakładem Księgarni **H. Olawskiego**, ul. Mazowiecka № 6.

1889.

ciepła, zatrzymanego przez powłokę atmosferyczną, wynosi $^4/_{10}$ całkowitego promieniowania. Gdyby atmosfera ziemska znikła, oświecona półkula ziemi otrzymywałaby prawie dwa razy tyle ciepła, co obecnie. Gdyby cała ilość słonecznego ciepła, ogrzewającego ziemię w przeciągu roku, była równomiernie rozdzielona na całej jej powierzchni, mogłaby stopić okrywającą ją wokoło warstwę lodu, trzydzieści kilka metrów grubą, lub też podnieść temperaturę oceanu słodkiej wody, mającego piętnaście mil geograficznych głębokości, od zera aż do punktu wrzenia. Oprócz tego obliczono, że ilość ciepła, jaką ziemia otrzymuje, jest zaledwie $^1/_{2300000000}$ całkowitego promieniowania słońca. Ilość ciepła, jaką słońce promieniuje w przeciągu godziny, jest równa ilości jaka powstałaby ze spalenia warstwy węgla przeszło trzy metry grubej, otaczającej wokoło powierzchnię słońca.

Ilość więc ciepła, jaką słońce traci od czasów nieskończenie dalekich, jest olbrzymia, a jednak nie zdołano w ciągu historycznego istnienia ludzkości odkryć najmniejszej zmiany w jego promieniowaniu, świeci ono i ogrzewa jak niegdyś świeciło i ogrzewało. W jaki sposób wyrównywa się ta coroczna strata? Wiemy, jakie istnieje pokrewieństwo pod względem składu chemicznego ziemi i słońca, lecz gdybyśmy chcieli uważać słońce jako ognisko, różniące się od ziemskich ognisk tylko wielkością i natężeniem, to jakiż byłby tem materyał palny, któryby był w stanie podtrzymywać takie ognisko? Żadna ze znanych nam substancyj ziemskich nie mogłaby odpowiadać temu zadaniu, gdyż chemiczne działanie ich byłoby za słabe, a zużycie zbyt prędkie. Gdyby słońce było masą palącego się węgla i gdyby otrzymywało tlen w ilości potrzebnej do wytwarzania olbrzymiego ciepła, jakie obecnie wysyła, to i wówczas spaliłoby się w przeciągu 5000 lat.

Ponieważ słońce obraca się wokoło swej osi, przypuszczano, że tarcie powierzchni słonecznej o cokolwiekbądź mogłoby wytwarzać ciepło i światło. Jest to nieprawdopodobne, gdyż przypuszczając nawet istnienie jakiegoś hamulca, który tworzy to tarcie, to z obliczenia wynika, że gdyby nawet cała siła obrotowa zamieniała się w ciepło, otrzymalibyśmy mniej-

szą jego ilość, niż ta jaką słońce wysyła w przeciągu dwóch stuleci.

Mayer, Waterston, Thomson głosili inną teoryę, a mianowicie tak zwaną meteoryczną teoryę słońca. Oprócz komet, planet i księżyców istnieje jeszcze nieskończona ilość małych ciał niebieskich czyli asteroidów, które również krążą po eliptycznych drogach wokoło słońca. Gdy zaś znajdą się w pobliżu ziemi i wskutek zetknięcia z naszą atmosferą rozpalają od tarcia, wtedy ukazują się nam pod postacią meteorów i gwiazd spadających. Można przypuścić, że w przeciągu roku spadają na ziemię w setkach i tysiącach milionów, ilość ta jednak stanowi jedynie nieskończenie małą część całej masy meteorów, krążących wokoło słońca.

Łatwo obliczyć największą i najmniejszą prędkość, jaką przyciąganie słoneczne udziela masie asteroidu, krążącego wokoło. Otóż krańcowa prędkość w pierwszym razie, w chwili gdy ciało uderzałoby o słońce, wynosiłaby 390 mil na sekundę, w drugim zaś razie 260 mil. Asteroid, uderzający o słońce z maximalną prędkością, rozwinąłby 9000 razy tyle ciepła, co spalenie równoważnej masy węgla, uderzenie zaś z minimalną prędkością, wytworzyłoby tyle ciepła, co spalenie około 4000 odpowiednich mas węgla. Kwestya zaś, czy substancye te, uderzające o słońce, są palne lub nie, małe ma znaczenie, gdyż ich spalenie nie o wiele powiększyłoby tę niezmierną ilość ciepła, jaka wywiązałaby się wskutek mechanicznego starcia.

Meteoryczna teorya objaśnia zatem czynnik, wynagradzający ciągłą utratę siły żywej słońca i utrzymujący temperaturę jego powierzchni w stopniu nieskończenie wyższym od temperatury ziemskich ognisk. Uderzanie asteroidów stanowi według tej teoryi przyczynę ciepła i światła słonecznego. Jak powiedzieliśmy, teoryę tę ogłosił Mayer (1848) w pracy o mechanice nieba; w pięć lat później Waterston wystąpił z podobną teoryą, którą naszkicował niezależnie od niemieckiego uczonego. Wreszcie w roku 1854 W. Thomson rozwinął dalej te poglądy. Wkrótce jednak potem (1862) Thomson przyszedł ostatecznie do przekonania, że chociaż słońce powstało być może wskutek nagroma-

dzenia się owych meteorów, co prawdopodobnie zaopatrzyło je w dostateczną ilość ciepła na 20000000 lat przy obecnem promieniowaniu, to jednak owo ciepło nie jest już teraz podtrzymywane przez podobne mechaniczne nagromadzanie się meteorycznej masy, powolne zaś oziębianie się słońca i stałość w jego promieniowaniu należy przypisać wysokiemu ciepłu właściwemu materyi słonecznej.

Helmholtz, znakomity niemiecki fizyolog, fizyk i matematyk wypowiedział inną hypotezę powstawania i istnienia ciepła słonecznego. Opierając się na hypotezie Laplace'a i przyjmując, że mgława materya kosmiczna znajdowała się pierwotnie w stanie nadzwyczajnego rozrzedzenia, wylicza on ilość ciepła, jaka powstała przez zgęszczenie się tej materyi w określone ciała układu słonecznego. Jeżeli przyjmiemy, że ciepło właściwe zgęszczającej się masy było takie same, jak dla wody, to ciepło wytworzone przy owem zgęszczeniu mogło podnieść temperaturę tej masy o 28000000^{0} C. Większa część tego ciepła rozeszła się drogą promieniowania po przestrzeni wszechświata.

Gdyby cały nasz układ słoneczny składał się z czystego węgla i gdyby się zapalił, to ciepło wytworzone przytem wynosiłoby zaledwie $^{1}/_{3500}$ część ciepła, wyzwolonego wskutek zgęszczenia się mgławej materyi, z której powstały ciała niebieskie tego układu. Helmholtz sądzi, że to zgęszczanie się trwa ustawicznie i że cząstki materyi, znajdujące się na powierzchni słońca, zbliżają się bezustannie do środka, wywiązując tym sposobem ciepło. Według jego obliczeń każde zmniejszenie się średnicy słońca o $^{1}/_{10000}$ jej obecnej długości wywiązałoby tyle ciepła, że byłoby w stanie wynagrodzić stratę z powodu promieniowania w przeciągu 2000 lat. Stopniowe zaś zgęszczanie się materyi słonecznej od gęstości jej obecnej do gęstości ziemi wytworzyłoby ilość ciepła, która mogłaby wynagrodzić promieniowanie słońca w przeciągu 17000000 lat.

„Chociaż, powiada Helmholtz, nie zdołalibyśmy nigdy wymierzyć tych nieskończonych okresów czasu, jakie upłynąć muszą, zanim zajdzie jakakolwiek zmiana w obecnych warunkach, to jednak na zasadzie niespożytych praw mechaniki, musimy

wywnioskować, że zasoby te mogą się tylko zmniejszać i że w końcu wyczerpią się ostatecznie. Niezmienność jednak przyrody nieorganicznej zdaje się być zapewniona na długie wieki tak, że nie mamy potrzeby obawiać się ani o nasz los, ani o los naszych najdalszych potomków.“

Jakkolwiek słońce stanowi najpotężniejsze źródło ciepła dla ziemi, nie jest ono jednak dla nas dosyć wygodne, gdyż nie możemy zeń korzystać podług woli naszej i właśnie wtedy, gdy ono się chowa lub gdy działanie jego słabnie, czujemy najbardziej potrzebę ciepła. Oprócz tego, jedynie za pomocą kosztownych przyrządów można ciepło słoneczne zebrać czyli skoncentrować tak, ażeby wywołało bardzo znaczne podwyższenie temperatury, bezpośredni zaś wpływ jego na ziemię jest — względnie do potrzeb jej mieszkańców — dosyć słaby. Z tego powodu człowiek starał się wynaleść inne, sztuczne środki, za pomocą których wytwarza sobie sam ciepło, pozwalające mu zaspokoić najważniejsze wymagania jego życia. Takiem źródłem ciepła jest głównie palenie, to jest proces, przy ktorym ciała łączą się z tlenem i któremu towarzyszy wydzielanie się światła i ciepła. Ażeby ciało paliło się w swobodnem powietrzu lub w atmosferze tlenu, należy koniecznie jeden z jego punktów doprowadzić przedtem do wyższej temperatury, innemi słowy należy ciało zapalić. Gdy proces palenia raz się rozpoczął, ciepło wytworzone przytem rozchodzi się dalej i podtrzymuje go, dopóki gaz, pomagający spaleniu, nie zużyje się całkowicie, albo dopóki ciało palące się nie zniknie. W podobny sposób otrzymujemy ogień w piecach, oraz płomienie świec i lamp, wiemy zaś dobrze z codziennego doświadczenia, że te źródła ciepła płyną dla nas tylko tak długo, dopóki dostarczamy im dwóch niezbędnych do palenia elementów.

Jeżeli palenie odbywa się w atmosferze czystego tlenu, wtedy jest daleko energiczniejsze, aniżeli w czystem powietrzu. Osadźmy brylant, będący jak wiadomo czystym węglem, w pętlicy platynowego drutu, rozpalmy go do czerwoności i zanurzmy w kloszu, napełnionym tlenem. Zobaczymy, że brylant bę-

dzie płonął i błyszczał w tlenie białem, jasnem światłem (fig. 480).

Zjawisko to należy objaśnić zupełnie w taki sam sposób, w jaki pojmujemy spadanie meteorów na powierzchnię słońca. Należy, powiada Tyndall, wyobrazić sobie, że atomy tlenu uderzają ze wszystkich stron o brylant. Przyciąga on je siłą chemicznego powinowactwa, która w istocie nie jest niczem innem, jak tylko siłą przyciągania; atom tlenu, uderzając o powierzchnię brylantu, traci swój ruch postępowy i przybiera inny rodzaj ruchu, zwany ciepłem. Ciepło to jest tak potężne, przyciąganie zaś w odległościach międzycząsteczkowych tak wielkie, że brylant rozpala się do białości, powstały zaś przy tem związek z atomów węgla i atomów tlenu unosi się pod postacią gazu, zwanego kwasem węglanym.

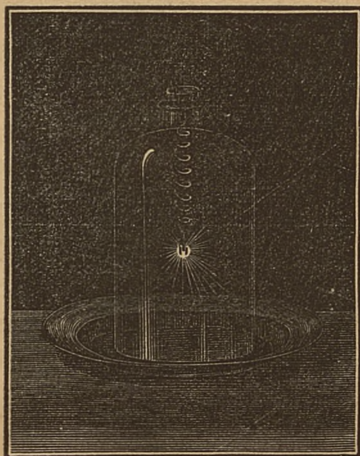
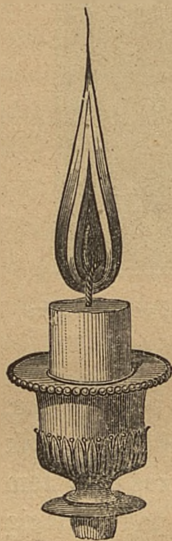


Fig. 480. Spalenie brylantu w atmosferze tlenu.

Zwykły nasz gaz oświetlający należy do grupy węglowodorów, składa się bowiem z węgla i wodoru, połączonych ze sobą w pewnym określonym stosunku. Jeżeli spalenie tego gazu nie jest zupełne, wtedy widzimy wydobywające się z niego sadze, które nie są niczem innęm jak drobno sproszkowanym węglem. Jeżeli tylko powierzchnia gazu styka się z tlenem powietrza, to gdy ogrzejemy to miejsce, przyciąganie pomiędzy atomami tlenu i atomami węgla i wodoru wzmoże się do tego stopnia, że gaz wybuchnie płomieniem. Najprzód tlen łączy się z wodorem i oswobadza węgiel, którego cząstki, rozproszone w palącym się wodorze, żarzą się i rozpalają do białości; wiemy, że tym właśnie cząstkom zawdzięczamy światło płomienia. Po pewnym czasie węgiel również łączy się z tlenem i wytwarza kwas węglany.

Płomień świecy jest w zasadzie tem samem co i płomień palącego się gazu. Od rozpalonego knota tłuszcz u dołu płomienia topi się, powstała zaś ciecz, dzięki włoskowatości, podnosi się wzdłuż knota, gdzie zamienia się w gazowy węglowodór, który pali się tak samo, jak zwykły gaz. Płomień przedstawia trzy różne warstwy (fig. 481), a mianowicie: część ciemną, która otacza knot i zawiera drobniutkie cząstki nie rozżarzonego węgla; temperatura nie jest tutaj bardzo wysoka. Część ciemną otacza z kolei warstwa jasna, będąca siedliskiem światła i wreszcie na zewnątrz widzimy cienką warstwę, słabo zabarwioną, o żółtym wierzchołku i niebieskawej podstawie; ta ostatnia właśnie część stanowi siedlisko ciepła.


Fig. 481. Płomień świecy.

Obecność wolnych cząsteczek węgla w płomieniu przypuszcza brąk dostatecznej ilości tlenu, albowiem gdyby w chwili, kiedy się wyswobadzają ze związku z wodorem, było tlenu podostatkiem, nie pozostawałyby wolne ani minuty. Ponieważ zaś światło lamp naszych i świec zawdzięczamy jedynie cząsteczkom węgla, to przy znacznym dopływie tlenu traci ono na blasku. Możemy nawet zniszczyć światło płomienia gazowego, jeżeli do rurki, z której wydobywa się gaz, wprowadzimy tyle powietrza, że tlen będzie dochodził aż do wnętrza płomienia. Bunsen wynalazł lampkę gazową, za pomocą której można przeszkodzić wytwarzaniu się światła przez gwałtowne spalenie stałych cząsteczek węgla; taki bezświetlny płomień posiada za to daleko wyższą temperaturę, aniżeli płomień zwykły. Natężenie więc światła gazu mierzy się ilością powietrza, jakiej potrzeba, ażeby przeszkodzić osiadaniu stałych cząsteczek węgla; im gaz jest bogatszy w te cząsteczki, tem więcej potrzeba tlenu do ich spalenia i osłabienia światła. W wietrzny wieczór można się o tem przekonać na ulicach miasta, oświetlonych gazem; dzięki silnemu prądowi powietrza tlen dostaje się do środka płomieni latarni i białe ich światło zmienia w blado niebieskie. Ró-

wnież daje się to widzieć podczas illuminacyj, kiedy najczęściej płomienie nie są osłonięte.

W roku 1859 Tyndall, podróżując w Alpach, przedsięwziął wspólnie z Franklandem badania nad wpływem wysokości na prędkość spalania. W dolinie Chamounix zapalili oni na godzinę starannie przedtem zważone świece, następnie po zgaszeniu zważyli je powtórnie, ażeby się dowiedzieć, wiele straciły na wadze i wyruszyli na Mont Blanc. Na szczycie góry zapalili je znów na godzinę, pod namiotem, który je chronił od zbyt silnych prądów powietrza; tutaj płomienie były tak blade i słabe, że zdawały się tylko słabem odbiciem płomieni, jakie te same świece dawały w dolinie. Lecz gdy wrócili na dół i zważyli świece, przekonali się, że godzinne palenie na górze zniszczyło taką samą ilość stearyny, co i godzinne palenie na dole, czyli że było ono równie silne na szczycie, jak i u podnóża góry, pomimo, że na szczycie światło płomieni było znacznie słabsze. Dziwne to na pozór zjawisko należy przypisać większej ruchliwości powietrza w miejscu górzystem, tam bowiem tlen może łatwiej przenikać do wnętrza plomieni i niszczyć ich światło.

Każdy człowiek i zwierzę, stanowi źródło ciepła, jak tego dowodzi fakt, że większość istot żyjących posiada temperaturę ciała prawie zupełnie niezależną od temperatury otoczenia i że wszystkie posiadają temperaturę wyższą, aniżeli środek, w którym żyją. Ciało zwierzęce na całej swej powierzchni styka się ze środkiem zimniejszym, któremu częścią przez promieniowanie, częścią przez przewodnictwo, oddaje swe ciepło. Oprócz tego, powierzchnia skóry jest zawsze pokryta mniejszą lub większą ilością wilgoci, która paruje i pochłania ciepło. Trudno ściśle określić jak wielką jest ilość tego ciepła, musi ona jednak być bardzo znaczna, skoro np. ciało ludzkie, którego powierzchnia wynosi średnio półtora kwadratowych metrów, styka się z otoczeniem o średniej temperaturze 20^0, a więc o 17^0 niższej od jego własnej temperatury.

Dalej w organizmie zwierzęcym ciepło jego zużywa się na ogrzanie przyjętych pokarmów i napojów oraz wdychanego powietrza do temperatury ciała. Wreszcie względnie znaczna ilość

ciepła zostaje pochłonięta przy wytwarzaniu pary wodnej, wydalanej przez zwierzę przy wydychaniu. Helmholtz obliczył, że człowiek, ważący 82 kilogramy, oddaje w przeciągu 24 godzin średnio 2700000 jednostek ciepła.

Źródłem tego ciepła są bezwątpienia najrozmaitsze procesy chemiczne, odbywające się wewnątrz ludzkiego i zwierzęcego organizmu. Pokarmy doń wprowadzane składają się po większej części ze związków węgla, wodoru, tlenu i azotu oraz z niewielkich ilości substancyj nieorganicznych, po wydaleniu zaś z organizmu przedstawiają się pod postacią zupełnie inną. Większa część przetwarza się wewnątrz ciała w mocznik, węglan amonu i t. p., które wydzielają się z moczem, część wydziela się jako kwas węglany, albo jako woda, wreszcie część tylko wychodzi z organizmu nierozłożona lub też nieznacznie zmieniona. Nie możemy tutaj wdawać się w obszerniejszy wykład różnych procesów, jakim ulegają pokarmy i których ostatecznym rezultatem są wymienione tylko co substancye, należy to bowiem do chemii fizyologicznej, nadmienimy jedynie, że wszystkie te procesy stanowią prawdziwe zjawiska spalenia, odbywające sią przy udziale tlenu, wprowadzonego do organizmu przez oddychanie. Są one dosyć skomplikowane, pomimo to ogólna ilość ciepła przez nie wytworzonego daje się z łatwością obliczyć na zasadzie pewnego prawa termochemii. Mianowicie ciepło wytworzone przez proces chemiczny zależy tylko od stanu początkowego i od stanu końcowego, obojętną zaś jest rzeczą, jakiemi były stany pośrednie. Czy spalimy węgiel na kwas węglany bezpośrednio, czy też zamienimy go na tlenek węgla i ten ostatni dopiero spalimy, w obu wypadkach na każdy gram swobodnego węgla wydzieli się 80 jednostek ciepła. Gdy spalamy cynk bezpośrednio na tlenek cynku, otrzymujemy taką samą ilość ciepła, jak przy rozpuszczaniu go w kwasie i strącaniu (za pomocą zasady) pod postacią tlenku cynku. Z prawa tego wynika, że ciepło zwierzęce musi być dokładnie równe ciepłu, wyswobodzonemu przy bezpośredniem spaleniu pokarmów na końcowe produkty procesów fizyologicznych, odbywających się w organizmie. Jak po-

wiedzieliśmy produktami temi, oprócz części nierozłożonych, są głównie: kwas węglany, woda, węglan amonu i mocznik. Uważając ten ostatni jako przekształcony węglan amonu i przyjąwszy, że ilość ciepła wyswobodzonego przy tej przemianie jest nieznaczną, dochodzimy do wniosku, iż ciepło wytworzone w organizmie musi być równe ciepłu, otrzymanemu ze spalenia odpowiedniej ilości pokarmów na kwas węglany, wodę i amoniak.

Słuszności tej teoryi ciepła zwierzęcego można dowieść na drodze doświadczalnej, należy mianowicie oznaczyć najprzód w kalorymetrze ilość ciepłą, wytworzoną przez zwierzę i następnie porównać ją z ilością obliczoną w powyższy sposób. Podobne doświadczenia wykonywał Dulong oraz Despretz. Wprowadzali oni różne zwierzęta ciepłokrwiste do miedzianej skrzynki otoczonej wodą, wysłanej wewnątrz plecionką z gałązek wierzby i obserwowali ilość ciepła, wydaloną przez zwierzę w ciągu określonego czasu. Przez skrzynkę przepływał prawidłowy prąd, który doprowadzał niezbędną ilość świeżego powietrza i zabierał lotne produkty oddychania. Produkty te, w danym razie kwas węglany i wodę, zbierano i oznaczano ilościowo. Obliczano następnie ilość ciepła, jaką otrzymanoby przy wytworzeniu takiej samej ilości kwasu węglanego ze swobodnego węgla oraz takiej samej ilości wody ze swobodnego wodoru. Dulong i Despretz sądzili, że ilość ta powinna być równa ilości ciepła, oddanego przez zwierzę, przypuszczenie to jednak jest oczywiście niesłuszne, albowiem ciepło spalenia danego związku nie jest równe sumie ciepła spalenia pierwiastków, w skład jego wchodzących. Stosownie do tego Dulong i Despretrz znaleźli, że obliczona ilość ciepła była różna od ilości zaobserwowanej, pierwszy mianowicie otrzymał liczbę 0,752, drugi zaś 0,811 ciepła zaobserwowanego.

Dla porównania teoryi z doświadczeniem, należy przedewszystkiem oznaczyć eksperymentalnie ilości ciepła, wytworzonego przy spaleniu pokarmów, czego dotychczas jeszcze dostatecznie nie uskuteczniono. [1]).

---

[1]) Wüllner, Physik III.

§ 5. Ogrzewanie mieszkań.

Gdziekolwiek znajdujemy sposobność obserwowania człowieka, stojącego na najniższym szczeblu cywilizacyi, to jest, czy badamy ślady jego działalności przed tysiącami lat, zachowane w głębokościach ziemi, czy też zapoznajemy się z opisów podróżników z obyczajami i sposobem życia narodów, pędzących żywot zdala od wszelkiej kultury, w każdym razie widzimy, że sztuka zdobywania ognia powoduje stanowczy zwrot w jego bycie. Przedtem może on chronić się przed wpływem zmian pogody do swej jaskini, którą dała mu natura albo którą sam z trudem wykopał w ziemi paznogciami lub ostremi kamieniami i może okrywać się surową skórą zwierząt, które zabił najbardziej pierwotną bronią. Również i pożywienia swego, składającego się z owoców, korzonków lub mięsa, złowionych ryb, albo upolowanych zwierząt, nie może on zmienić, lecz zjada je w stanie surowym. Dopiero z wybuchem płomienia, który według greckiego podania pochodzi z dziedziny bogów, otwiera się przed człowiekiem droga, na której wznosi się coraz wyżej. Od tej chwili może on śmiało stawić czoło okrutnej zimie, może w sposób dla siebie odpowiedniejszy przygotowywać swe pożywienie, wyrabiać lepszą broń do walki ze zwierzętami oraz lepsze narzędzia do uprawy roli.

Mało jest miejsc na ziemi, gdzie różnice w temperaturze są tak nieznaczne, że nie przeszkadzają człowiekowi w rozwoju i ujawnianiu jego władz fizycznych i duchowych. Miejsca takie cieszące się wieczną wiosną, są słabo zaludnione, gdyż ciągła jednostajność klimatu nie wywiera, zdaje się, dobroczynnego wpływu na rozwój ludzkości. Z małemi tedy wyjątkami różnica w temperaturze dziennej i nocnej oraz letniej i zimowej daje się dotkliwie we znaki; nawet w pustyni po gwałtownym upale temperatura wraz z zachodem słońca tak się obniża, że woda marźnie. Jeszcze bardziej, aniżeli w gorących krajach, należy w strefie umiarkowanej pamiętać o zimie i korzystać ze sztucznych źródeł ciepła, wreszcie dostęp do okolic zimnych, do których

przenikamy coraz głębiej w miarę postępu cywilizacyi, byłby niemożliwy, gdyby ogień, jak wierny wspólnik, nie towarzyszył człowiekowi.

Wiemy już, że co się tyczy sposobów wytwarzania ognia, *tarcie* stanowi jedyny fizykalny środek pomocniczy, od wieków używany i obecnie jeszcze wyłącznie będący w użyciu. Dzicy do dziś dnia przygotowują sobie ogień przez tarcie dwóch kawałków drzewa, nasi dziadowie uderzali gwałtownie kawałkiem stali o kamień i pod sypiące się przytem iskry podsuwali łatwo zapalne substancye, wreszcie my także pocieramy o chropawą powierzchnię zapałki, specyalnie na drodze chemicznej przygotowane.

Gdy ogień został już rozniecony, pytamy dalej, w jaki sposób należy spalać podtrzymujące go materyały, ażeby wyciągnąć z nich jaknajwiększą korzyść. Najprościej jest umieścić paliwo na ziemi, na swobodnem powietrzu, grzać się przy roznieconem ognisku i gotować przy niem potrawy, sposób taki jednak jest jednocześnie także zbytkownym, gdy dużo ciepła ginie wtedy bez korzyści dla człowieka. Istotny postęp widzimy tam, gdzie ognisko rozkładają w zamkniętej przestrzeni, chroniącej je od wiatru i niepogody i gdzie nie może ono tak silnie promieniować ciepło na wszystkie strony. Tak powstały ogniska w chatach u wpółdzikich narodów; do dziś dnia jeszcze widzimy je u wielu ludów północy i wschodu. Wokoło płomieni, których dym, nie mając wyjścia, napełnia całą izbę, gromadzą się jej mieszkańcy, tutaj grzeją swe skostniałe członki i przygotowują swe pożywienie. Nawet w naszych chatach wieśniaczych spotykamy jeszcze często otwarte kominy, w których, z wielką stratą paliwa, wieśniacy gotują swą strawę.

W wiekach średnich, w całej Europie ogień rozniecano tylko w kominkach, w nowszych zaś czasach użycie ich ogranicza się tylko do krajów południowych, do Francyi i Anglii, która pomimo swego bardziej północnego położenia odznacza się jednostajnością klimatu. W Niemczech zaś oraz w krajach północy kominki całkowicie zastąpione zostały przez piece; spotykamy je

tylko w zamkach i pałacach, gdzie służą bardziej do ozdoby pokoju, niż do ogrzewania.

W gruncie rzeczy piece stanowią tylko zmieniony i ulepszony komin; ognisko jest w nim wysunięte na pokój i otoczone ze wszystkich stron ścianami pieca tak, że jego ciepło udziela się wokoło powietrzu pokoju i może być o wiele lepiej spożytkowane. Piece różnią się bardzo tak pod względem formy, jak i materyału, z którego są zbudowane. Co do ostatniego, to piece z blachy żelaznej lub z żelaza kutego cieszą się jeszcze wielkiem uznaniem, szczególniej u biedniejszej ludności, która sądzi, że wydatek na paliwo jest w tym razie znacznie mniejszy, aniżeli przy innych piecach. W istocie, dzięki wielkiej zdolności przewodnictwa, jaką się odznaczają metale, ciepło przenika bardzo szybko przez ścianę żelaznego pieca i prędko napełnia pokój, z drugiej jednak strony nie należy zapominać, że i oziębienie następuje równie szybko po zgaśnięciu ostatniej iskry w piecu. Żelazne piece tedy przedstawiają korzyść pod względem finansowym, gdy chodzi o szybkie, lecz krótkotrwale ogrzanie przestrzeni. Natomiast połączone są z wielkiemi przykrościami, a nawet z niebezpieczeństwem. Najprzód osuszają one zbyt silnie powietrze, pozbawiając go koniecznej wilgotności, powtóre zaś temperatura w różnych odstępach od pieca przedstawia bardzo znaczne różnice. Doświadczenia wykonane w roku 1868 pod kierunkiem Morin'a pokazały, że na odległości połowy metra od pieca temperatura powietrza wahała się między 50^0 i 60^0, podczas gdy na odległości dwóch metrów dochodziła tylko do 36^0 lub 39^0. Właściwym jednak celem tych doświadczeń było gruntowne zbadanie pewnego zjawiska, którem poprzednio jeszcze zajmowali się Graham, St. Claire-Deville i Troost, a mianowicie występowania tlenku węgla w powietrzu, otaczającem żelazny piec. Wiadomo, że tlenek węgla jest to gaz, który nawet w małych ilościach jest trujący. Na zjawisko to zwrócono uwagę z powodu następującego faktu: W okresie czasu, pomiędzy rokiem 1850 i 1860 Dr. Carret zauważył w niektórych okolicach Francyi szczególną epidemię u dzieci, uczęszczających do szkoły, przyczem zrobił zadziwiające odkrycie, że tylko te dzie-

ci dotknięte były chorobą, które uczyły się w pokojach, ogrzewanych za pomocą żelaznych pieców. Jakkolwiek nie stwierdzono wtedy z pewnością, że sposób ogrzewania stanowił przyczynę choroby, to jednak zjawisko owo dało impuls do analizy powietrza w blizkości żelaznego pieca; analiza ta dała wspomniany rezultat. Według wszelkiego prawdopodobieństwa trujący gaz pochodzi od substancyj, palących się w piecu, oprócz tego przyjmujemy, że żelazo rozgrzane do czerwoności przepuszcza tenże gaz, a nawet być może przyczynia się do jego powstawania. Podług innego poglądu, mniej prawdopodobnego, delikatne pyłki ustawicznie zawieszone w powietrzu, zetknąwszy się z gorącą ścianą pieca, spalają się niedostatecznie i dają początek tlenkowi węgla. Bez względu jednak na przyczynę wspomnianego zjawiska, w istnienie którego wątpić już nie można, należy być bardzo ostrożnym przy użyciu żelaznych pieców.

Wszystkich tych niewygód unika się przy użyciu pieców, zbudowanych z kafli lub z gliny ogniotrwałej i z wierzchu pokrytych porcelaną albo fajansem, wreszcie i pieców żelaznych, lecz wyłożonych wewnątrz kamieniem. Wprawdzie ciepło o wiele wolniej przenika na zewnątrz przez ich ściany, które są gorszemi przewodnikami, z tego samego jednak powodu zachowują one wyższą temperaturę przez czas znacznie dłuższy i nie stanowią przytem przyczyny zjawisk niebezpiecznych dla zdrowia. Jeżeli porównamy piece ze zwykłemi kominkami, przekonamy się, że podczas gdy te ostatnie dają nam zaledwie 12 do 14 proc. całkowitego ciepła, wytworzonego przez spalanie, piece dają nam 85 do 90 proc. Natomiast ustępują one kominkowi pod względem wentylacyi, albowiem w pokoju ogrzewanym przez piec powietrze odnawia się najwyżej co 10 godzin, kominek zaś umożliwia wentylacyę, więcej niż wystarczającą dla zdrowia.

Nie możemy oczywiście wdawać się tutaj w obszerny opis budowy różnych pieców, zatrzymamy się tylko nad jednym ich rodzajem, gdzie ognisko znajduje się na względnie znacznej odległości od mieszkań, które mają być ogrzane. Jedno i to samo ognisko ogrzewa przytem jednocześnie wielką liczbę pokojów,

z niego bowiem, jak ze środkowego punktu, ciepło przez rury rozchodzi się na wszystkie strony i dlatego taki sposób ogrzewania zowie się *centralnym*. Jest on szczególnie korzystny dla gmachów publicznych, jak kościoły, szkoły, sądy i t. p. Rozmaite systemy centralnego ogrzewania różnią się głównie pod względem środka, przeprowadzającego ciepło od ogniska. Niekiedy ogrzane powietrze bezpośrednio bywa wprowadzane do pokojów gmachu albo też przenoszenie ciepła odbywa się za pośrednictwem gorącej wody lub pary wodnej, krążących w rurach.

Przy ogrzewaniu gorącem powietrzem piec znajduje się zwykle w piwnicy gmachu, w miejscu, do którego ciągle przybywa zewnętrzne powietrze, lecz które nie łączy się bezpośrednio z ogniskiem tak, że dym i gazowe produkty spalenia nie mogą doń przenikać. Rura, odprowadzająca gazy te i dym jest w tem miejscu kilkakrotnie zgięta, albo też dzieli się na oddzielne rury, które poczęści leżą poziomo (fig. 482), poczęści zaś biegną pionowo. Urządzenie takie przedstawia tę korzyść, że powiększa powierzchnię ogrzewającą, wskutek czego ciepło otrzymane ze spalenia może być znacznie lepiej wyzyskane.

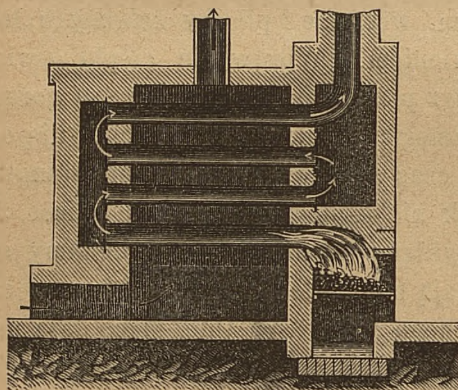


Fig. 482. Piec do ogrzewania powietrzem.

Podczas gdy dym i gazy powstałe ze spalenia uchodzą przez komin, po uprzedniem oddaniu większej części swego ciepła powietrzu kamery ogrzewającej, powietrze to również wznosi się najprzód w rurze głównej, następnie w rurach bocznych, stanowiących jej rozgałęzienia i dostaje się do pokojów przez otwory, które za pomocą klap można zamykać częściowo lub zupełnie. Zależnie od mniejszej lub większej dokładności w urządzeniu, można w ten sposób wyzyskać 60 do 80 proc. cie-

pła, wytworzonego przez spalenie. Powietrze, które przybywa ztamtąd, gdzie znajduje się piec, posiada często temperaturę zbyt wysoką dla naszych mieszkań; w celu obniżenia tej temperatury, a także ułatwienia lepszej wentylacyi, dodaje się jeszcze rury, przez które może przenikać swobodne powietrze.

Za pomocą odpowiednich klap zamykających rury i wentylatory, można utrzymać temperaturę stale na żądanej wysokości oraz wpuszczać do mieszkania potrzebną ilość świeżego powietrza. Co do wydatku na paliwo, to opisany sposób ogrzewania jest również korzystny. Lecz za to przedstawia on pewne złe strony, a mianowicie powietrze w pokoju staje się nadzwyczajnie suchem tak, że należałoby ustawicznie wyparowywać duże ilości wody; oprócz tego prąd powietrzny, przychodzący z piwnic do mieszkania, przynosi ze sobą wiele kurzu i wreszcie nie mamy zupełnej pewności, że prąd ten nie zawiera trującego tlenku węgla, który, podobnie jak przy żelaznych piecach, przenika przez rozpalone rury ogrzewające.

Wszystkich tych niewygód unikamy przy systemie ogrzewania za pomocą gorącej wody. Tutaj powietrze ogrzewa się jednostajnie i umiarkowanie, nigdy nie jest wysuszone, ze strony zaś trujących gazów nie ma żadnego niebezpieczeństwa. Ognisko również znajduje się zwykle w suterynie domu (fig. 483, str. 880); dym i gazy uchodzą przez kanał *A* i komin *B*. Nad ogniskiem widzimy kocioł *C* napełniony wodą; wskutek ogrzania woda rozszerza się, jej ciężar właściwy staje się mniejszy i dlatego wznosi się ona w rurze do zbiornika *D*, ustawionego na jednem z górnych pięter i odgrywającego rolę pieca, który promieniuje ciepło. Ze zbiornika *D* odchodzi rura, prowadząca do podobnego zbiornika *F*, leżącego o piętro niżej i tak dalej. Wreszcie rura, wychodząca z ostatniego najniższego zbiornika *E*, łączy go z dolną połową kotła *C*, przez co woda, która z kotła wypłynęła, ciągle do niego powraca. Prądowanie wody rozpoczyna się natychmiast po ogrzaniu kotła, stopniowo staje się ono coraz żywsze i dochodzi do największego natężenia wtedy, gdy różnica w temperaturze kotła i najwyższego zbiornika jest największa. W zbiorniku tym znajduje się otwór, przez który można cały

aparat napełnić wodą i przez który także powietrze oraz para może ujść, w razie gdy prężność jej wskutek ogrzania staje się zbyt wielka. Do ogrzewania pokojów przyczyniają się nie tylko zbiorniki, lecz także i rury, które je łączą.

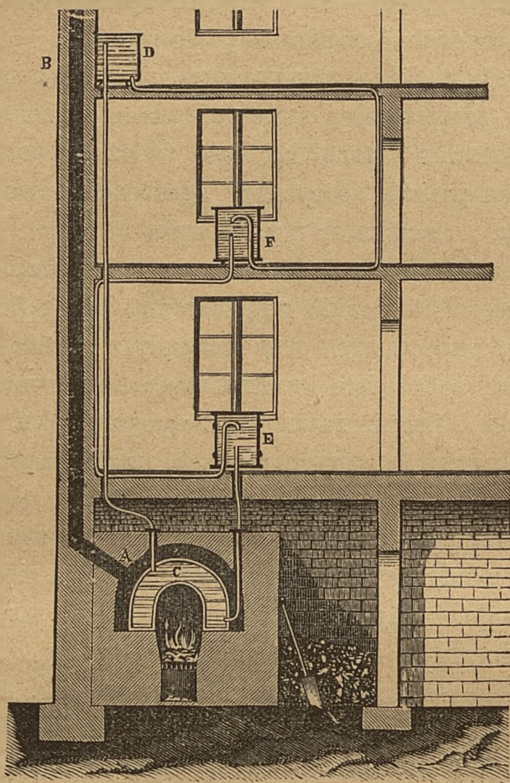


Fig. 483. Ogrzewanie za pomocą gorącej wody.

Opisany system ogrzewania został wynaleziony w ośmnastym wieku przez architekta Bonnemain'a i od tego czasu uległ w ogóle nieznacznym zmianom. Ponieważ przy systemie tym górny zbiornik jest zawsze otwarty, to prężność pary nie może być w nim większa nad ciśnienie jednej atmosfery, a więc temperatura nie może być wyższa nad 100°; dlatego też system ten nosi nazwę systemu o nizkiem ciśnieniu. Istnieje jeszcze drugi podobny, lecz o wysokiem ciśnieniu, przy którem można osiągnąć daleko wyższą temperaturę.

Inżynier Grouvelle wymyślił bardzo korzystny system mieszany. Tutaj para wodna biegnie z kotła przez rury, dochodzące do otwartych naczyń, napełnionych wodą i ustawionych w mieszkaniach, podobnie jak zbiorniki przy systemie ogrzewania za pomocą gorącej wody. W naczyniach tych para ulega skropleniu i oddaje wodzie swe ciepło, która w ten sposób ogrzewa się i stanowi następnie źródło ciepła dla pokoju. Niebezpieczeń-

stwa eksplozyi nie ma tutaj, albowiem prężność pary nigdy nie może znacznie przewyższyć ciśnienia jednej atmosfery.

Wspomnimy jeszcze krótko o jednym systemie ogrzewania, bardzo czystym i wygodnym, lecz który daje się zastosować jedynie w większych miastach i który oprócz tego nie należy do najtańszych. Jest to system ogrzewania za pomocą gazu. Ściśle mówiąc nie należy on do systemów centralnego ogrzewania, albowiem tutaj gaz zastępuje tylko inne palne materyały. Wypływa on z szeregu palników i spala się przy silnym dopływie powietrza. Powietrze powinno dochodzić do środka samego płomienia, wtedy bowiem spalenie odbywa się możliwie szybko i dokładnie, co poznaje się potem, że płomień świeci nader słabo. Taki sposób ogrzewania przedstawia tę złą stronę, że w wysokim stopniu osusza powietrze i dlatego został głównie zastosowany do potrzeb kuchennych i przemysłowych.

Wreszcie poświęcimy jeszcze słów parę samym materyałom palnym, to jest rozpatrzymy je pod względem różnej wartości, jaką one przedstawiają dla nas, co do wydajności ciepła przy spaleniu.

Ze wszystkich palnych substancyj drzewo niewątpliwie najwcześniej było używane; obecnie jeszcze stanowi ono w wielu krajach jedyny materyał palny. Jest on z pewnością najprzyjemniejszy, lecz jednocześnie i najdroższy, wyjąwszy w krajach, pokrytych gęstym lasem i leżących daleko od kopalni węgla. W miarę znikania lasów i powiększania się ludności oraz w miarę wzrastającej potrzeby paliwa do celów przemysłowych, człowiek musiał obejrzeć się za innemi materyałami, które mogłyby odpowiedzieć jego wymaganiom. Dla większości państw, najtańszem paliwem okazał się węgiel, którego bogate pokłady ukryte są w ziemi; dziś najważniejszemi materyałami palnemi są: węgiel kamienny, antracyt, drzewny węgiel ziemny, oraz produkt dystylacyi węgla kamiennego — koks. Do nich można także dodać torf, pod względem swych własności najbardziej zbliżony do drzewa. Wszystkie wymienione substancye pochodzą ze świata roślinnego i urosły bądź w naszych czasach, bądź powstały w odległych, geologicznych epokach. Wiemy, że wy-

dzielanie węgla w roślinach odbywa się tylko pod wpływem promieni słonecznych, z czego wynika, że ostatecznie słońcu zawdzięczamy całe ciepło przez nas otrzymywane.

Podajemy tutaj kilka cyfr, wykazujących względną wartość ogrzewającą najważniejszych palnych materyałów oraz ilość ciepłostek (dużych), jaką kilogram każdego z nich wytwarza przy spaleniu:

Substancya.	Ilość ciepłostek.	Wartość ogrzewająca.
Węgiel	8000	1,00
Antracyt	7500	0,94
Koks	7000	0,88
Drzewny węgiel ziemny	6500	0,81
Węgiel drzewny	6000	0,75
Torf	5000	0,63
Suche drzewo	4000	0,50
Świeże drzewo (z 20% wody)	3000	0,38
Gaz oświetlający	10000	1,25

Widzimy, że gaz oświetlający posiada największą wartość ogrzewającą, po nim dopiero idą: węgiel kamienny, antracyt i koks, najniżej zaś stoi drzewo, szczególniej gdy nie jest dobrze wysuszone. Należy dodać jeszcze, że przy dotychczasowych sposobach ogrzewania, nawet możliwie najlepiej zastosowanych, znaczna ilość ciepła, wytworzonego przez spalenie, ginie dla nas bez najmniejszej korzyści. Na zasadzie statystycznych danych, dostarczonych przez Bureau des longitudes, obliczono że sam Paryż traci tą drogą conajniej 40 milionów franków rocznie. To daje wyobrażenie, jak wielką byłaby ta suma, gdyby ją obliczono dla wszystkich bardziej ucywilizowanych krajów Europy. Widzimy, że tutaj teorya i praktyka mają dla siebie szerokie jeszcze pole; przez użycie racyonalnych metod mogłyby na niem być dokonane ważne ulepszenia, korzystne zarówno dla zdrowia ludzkości, jak i dla jej stanu materyalnego.

ROZDZIAŁ VI.

Maszyny parowe.

§ 1. Najpierwsze obserwacye nad prężnością pary. Maszyna Papin'a, Savery'ego i Newcomen'a. Odkrycia Watt'a.

W starożytnych już czasach znano zjawiska zależne od prężności powietrza; wszak Heron z Aleksandryi wynalazł przyrząd, w którym ścieśnione powietrze, rozszerzając się, wypycha strumień wody. Zdaje się, że tenże fizyk zajmował się także rozszerzalnością pary wodnej, on bowiem prawdopodobnie jest wynalazcą najdawniejszego przyrządu, w którym ruch otrzymuje się za pomocą pary. Przyrząd ten czyli eolipila działa wprawdzie w inny sposób, aniżeli obecne nasze maszyny parowe, nigdy także nie można go było zastosować do celów praktycznych, pomimo to zasługuje na wzmiankę z tego względu, iż jest najstarszym z aparatów, poruszających się pod wpływem prężności pary. Ta ostatnia wytwarza się w kotle, zkąd przechodzi do kuli, zaopatrzonej w dwie rury, z jednej strony otwarte, przez te otwory w rurach para uchodzi w powietrze (fig. 484). Dzięki ciśnieniu pary na przeciwległe zamknięte ścianki rur, kula poczyna się obracać w kierunku przeciwnym kierunkowi wytryskującego prądu pary. Widzimy tutaj zupełnie takie same działanie, jak w wodnem kole Segner'a (patrz str. 89), z tą różnicą, że tam, zamiast pary wodnej, wypływa z rur strumień wody.

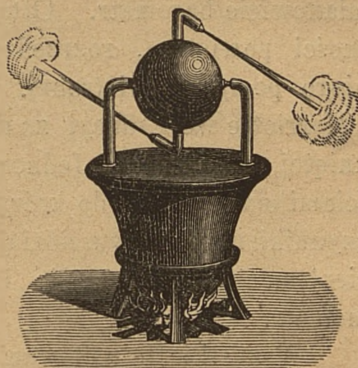


Fig. 484. Eolipila.

Nieco dokładniejsze, jakkolwiek jeszcze dość niejasne, pojęcie o istocie siły pary posiadał Salomo de Caus, który w początkach XVII stulecia wydał manuskrypt p. t. „O przyczynach sił poruszających.“ Nie można go jednak

nazwać pierwszym wynalazcą maszyny parowej, odkrycie jego bowiem polega jedynie na tem, że w wodotrysku Herona użył prężności pary wodnej zamiast prężności ścieśnionego powietrza. Przez rurę *D* (fig. 485) napełnia on wodą balon *A*, w którym rura *BC* dochodzi do samego dna prawie, zamyka krany *D* i *B* i ogrzewa. W balonie tworzy się para, której prężność wzrasta w miarę podwyższania temperatury tak, że po otworzeniu krana *B* woda wytryskuje z dość znaczną siłą.

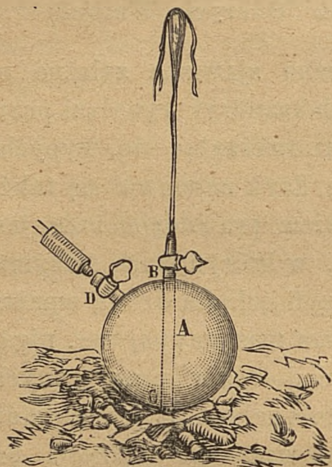


Fig. 485. Przyrząd Saloma de Caus'a.

Wiek, w którym żył Salomo de Caus, był wogóle okresem stopniowego rozwoju odkrycia parowej maszyny, w ostatnich też latach tego stulecia weszła ona w użycie. Wtedy poznano dokładniej własności powietrza, gdyż w owym właśnie czasie Galileusz i Torricelli we Włoszech wykonywali swe doświadczenia nad ciśnieniem powietrza, ostatni zaś uczony zbudował ważny przyrząd do dokładnego mierzenia tego ciśnienia, mianowicie barometr. Otto Guericke w Niemczech badał własności powietrza, rozrzedzonego za pomocą wynalezionej przez niego pompy powietrznej. Niedługo potem Boyle w Anglii i Marriotte we Erancyi znaleźli prawa ciśnienia gazów w zamkniętej przestrzeni. Jednocześnie z temi badaniami nad własnościami ciał lotnych, do których należy także para, zajmowano się czynnikiem, biorącym udział w wytwarzaniu pary, a mianowicie ciepłem; wtedy właśnie Drebbel w Holandyi wynalazł termometr.

Wszystkie te usiłowania przygotowały pole do odkrycia pierwszej, prawdziwej maszyny parowej, dokonanego kolejno przez Papin'a, Savery'go i Newcomen'a.

W roku 1680 Huyghens wypowiedział myśl, że możnaby może korzystać z siły, objawiającej się przy wybuchu prochu

strzelniczego, gdyby go zapalono wewnąrz cylindra, w którym mógłby się poruszać tłok. Sądził on, że gdyby powietrze, wskutek gwałtownego wybuchu, było wypędzane przez otwory, któreby się natychmiast zamykały, dzięki czemu pod tłokiem powstawałaby próżnia, wtedy zewnętrzne powietrze wpychałoby tłok napowrót z siłą proporcyonalną do jego powierzchni, Za pomocą tak otrzymanej siły możnaby, podług niego, nie tylko podnosić najrozmaitsze ciężary, szczególniej wodę z kopalń, lecz także wyrzucać z wielką gwałtownością kule i strzały. Myśl Huyghens'a podjął Samuel Moreland, który sądził jednak, że takie same działanie można osiągnąć przez zamianę wody w parę, ta ostatnia bowiem zajmuje 2000 razy więcej miejsca, aniżeli woda. Dane te dowodzą, jak dokładnie Moreland był obeznany z naturą pary wodnej, późniejsze bowiem badania wykazały, że wartość powyższa mało różni się od istotnej, wynoszącej 1696, że zatém Moreland był dość blizkim prawdy.

Jednocześnie podobnemi badaniami zajmował się lekarz Papin, który wskutek odwołania edyktu Nantejskiego został wygnany ze swej ojczyzny Francyi i znalazł przytułek w uniwersyteckiem mieście Marburgu. Obserwacye jego nad parą doprowadziły go najprzód do odkrycia kociołka, noszącego jego nazwisko i opisanego w jednym z poprzednich rozdziałów. W roku zaś 1690 udało mu się zbudować małą maszynę, opartą na zasadzie, wygłoszonej przez Huyghens'a i Morelanda. Do żelaznego, zamkniętego u dołu cylindra *A* (fig. 486) wprowadzał on nieco wody, a następnie wsuwał tłok *B*, szczelnie dopasowany, lecz mający otwór *L*; tłok spychał tak długo, dopóki woda nie przechodziła przez tenże otwór. Poczem zamykał ten ostatni za pomocą pręta *M* i ogrzewał wodę; tworząca się para podnosiła tłok, oraz przymocowany do niego pręt *D*, w jednem miejscu nacięty. Gdy tłok osiągał najwyż-

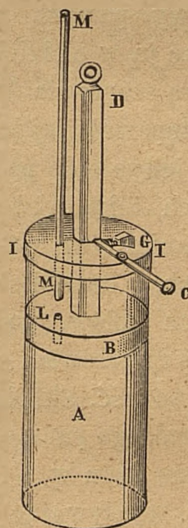


Fig. 486. Parowa maszyna Papin'a.

sze swe położenie, wtedy mały pręcik *C*, przytwierdzony do pokrywy *J* i naciskany za pomocą sprężyny *G*, wchodził w nacięcie pręta *D* i zatrzymywał tłok. Po oddaleniu cylindra od ognia, para pod tłokiem skraplała się i w tem miejscu powstawała próżnia. Gdy do pręta *D* przymocowywano sznur, przerzucony przez blok i odsuwano pręcik *C*, spadający pod wpływem zewnętrznego ciśnienia tłok pociągał za sobą dość znaczne ciężary, uczepione u sznura. Widzimy tedy, że tłok podnosił się wprawdzie pod wpływem prężności pary, właściwą jednak pracę wykonywała nie para, lecz powietrze zewnętrzne, które spychało tłok napowrót ku dołowi. Dlatego też maszyna Papin'a, zarówno jak i wkrótce po tem wynaleziona maszyna Newcomen'a, noszą nazwę *atmosferycznych*. Pomimo, że Papin mógł uchodzić za istotnego wynalazcę parowej maszyny i że udało mu się nawet za jej pomocą wprawić w ruch mały statek, to jednak porzucił on swe odnośne doświadczenia, gdy w roku 1705 dowiedział się od Leibnitza o urządzeniu parowej maszyny, dokonanem w tym czasie przez Savery'ego.

Angielski urzędnik górniczy Savery (1698) wpadł na szczęśliwy pomysł, ażeby parę wytwarzać w kotle i następnie skraplać ją w oddzielnem naczyniu. Pod tym względem maszyna jego stanowiła wielki postęp w porównaniu z maszyną Papin'a, ustępowała jej jednak pod innym, mianowicie pod tym, że służyła jedynie do podnoszenia wody w rurze, podczas, gdy u Papin'a ruch tłoka był tego rodzaju, że przy użyciu innych, czysto mechanicznych maszyn, mógł być zamieniony w jakibądź odmienny ruch. Innemi słowy, maszyna Papin'a mogła służyć do rozmaitych celów, podczas gdy przyrząd Savery'ego tylko tam dawał się zastosować, gdzie chodziło o podniesienie wody na określoną wysokość. Składał się on z kotła parowego *B* (fig. 487, str. 887), z którego para wychodziła przez rurę do naczynia *S*; gdy zamykano kran w *C* i puszczano na to naczynie strumień zimnej wody, wypływającej z rezerwoaru *E* przez kran *e*, para skraplała się i w *S* tworzyła się próżnia. Wtedy zewnętrzne powietrze wpychało wodę z *R* do ssącej rury i wreszcie do naczynia *S*. Gdy następnie znów otwierano kran *C*, para wycieśniała wodę

z *S*, ponieważ zaś odpowiednia klapa nie pozwalała wodzie spływać napowrót do rury ssącej, podnosiła się ona w rurze *A*, zaopatrzonej w klapę, która również jak i tamta otwierała się tylko do góry. Przez kolejne otwieranie krana *C* i wypuszczanie zimnej wody ze zbiornika *E* wypompowywano wodę z danego miejsca *R*.

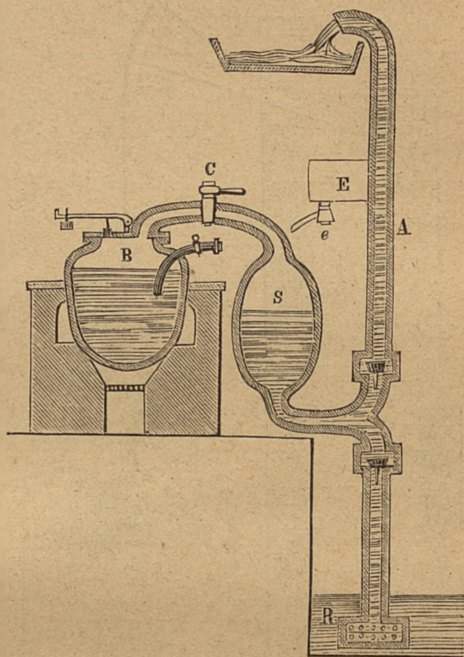


Fig. 487. Parowa maszyna Savery'ego.

Ponieważ Savery nie mógł osiągnąć ze swą maszyną tych korzyści, jakich się spodziewał, to w pierwszych latach następnego, to jest ośmnastego stulecia, połączył się on z dwoma mieszkańcami miasta Darmouth, Newcomen'em i Cawley'em i trzem tym mężom udało się zbudować przyrząd, który dawał lepsze od poprzednich rezultaty, lecz który w gruncie polegał na zasadzie, stosowanej już przez Papin'a. W maszynie tej, noszącej nazwisko Newcomen'a, gdyż on był głównym jej wynalazcą, para wytwarzała się w oddzielnym kotle *B* (fig. 488, str. 888); ztąd przechodziła do cylindra *C*, w którym przesuwał się szczelnie dopasowany tłok *P*, połączony łańcuchem z dwuramienną dźwignią. Gdy para wycieśniła już powietrze z cylindra przez boczną rurkę *V*, zamykano tę rurkę; nowoprzybywająca para napełniała znów cylinder, tłok zaś *P*, pociągany także przez przeciwwagę *J*, zawieszoną na drugim końcu dźwigni, osiągał najwyższe swe położenie. Wtedy zamykano kran, przez który para wychodziła z kotła i otwierano kran *O* w rurze, łączącej cylinder ze zbiornikiem zimnej wody *L*; pod wpływem zimnego strumienia para w cylin-

drze skraplała się, pod tłokiem zaś wytwarzała się próżnia i powietrze zewnętrzne spychało tłok napowrót. Opadający tłok ciągnął w górę ciężar *J*, oraz pręt *K*, należący do pompy. Po zamknięciu krana *O* wypuszczano wodę, zebraną w cylindrze i otwierano kran w kotle parowym, przez co ruch tłoka na nowo się rozpoczynał.

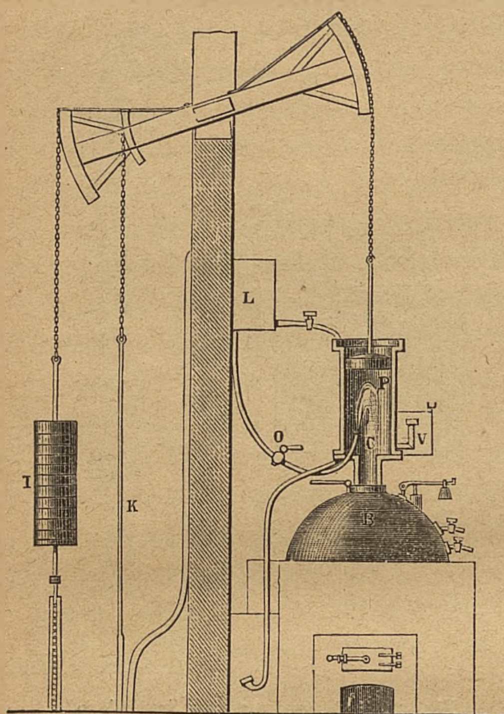


Fig. 488. Maszyna atmosferyczna Newcomen'a.

Atmosferyczna maszyna Newcomen'a znalazła prędkie zastosowanie w kopalniach, gdzie służyła do podnoszenia wody; również i ruch wody w wodociągach Londynu osiągano za pośrednictwem podobnego przyrządu. Pomimo olbrzymich ulepszeń, jakim maszyny parowe uległy szczególniej w ostatnim dziesiątku lat zeszłego stulecia, ów prosty przyrząd przez długi czas pozostawał w użyciu w wielu miejscowościach i być może, że obecnie nawet istnieje jeszcze w niektórych okolicach, gdzie węgiel kamienny jest bardzo tani. Oprócz kilku nieznacznych ulepszeń w pojedyńczych częściach, maszyna parowa pozostała do roku 1769 na tej samej stopie, na jakiej postawili ją Savery, Newcomen i Cawley. W ciągu zatem sześćdziesięciu czterech lat wynalazek, o którym mowa, nie posunął się prawie wcale naprzód, dopiero znakomite odkrycia, dokonane w roku wymienionym przez Jamesa Watt'a oraz ogromne postępy wszystkich nauk przyrodniczych owego czasu, uczyniły z maszyny parowej potężne narzędzie, za pomocą którego człowiek zdobył więcej, aniżeli za pośrednictwem każego innego wynalazku.

W roku 1763 przysłano do mechanika Jamesa Watt'a — zajmującego wtedy skromne stanowisko inspektora zbioru modeli w uniwersytecie w Glasgowie — maszynę Newcomen'a do naprawy i okoliczność ta pobudziła go do zajęcia się przyrządem, który wówczas powszechnie był używany w kopalniach. Watt wymyślił szereg ulepszeń, które gruntownie zmieniły maszynę parową i w zadziwiający sposób spotęgowały jej działanie. Przedewszystkiem uderzyła go znaczna utrata ciepła, jaką ponoszono wskutek wpuszczania zimnej wody do cylindra; za każdym razem para musiała najprzód ogrzać jego ścianki, zanim mogła podnieść tłok do góry. Kilka doświadczeń, wykonanych na małą skalę, doprowadziły Watt'a do wniosku, że para nie koniecznie musi skraplać się w tej samej przestrzeni, w której porusza się tłok, lecz może równie dobrze zgęszczać się w oddzielnem naczyniu czyli kondensatorze, połączonym za pomocą rury z cylindrem. W związku z odkryciem kondensatora znajduje się wynalazek pompy, wstrzykującej do niego zimną wodę, oraz pompy, która wydala zeń powietrze i wodę powstałą ze skroplenia pary. Dalej Watt, na miejsce atmosferycznej maszyny, wprowadził maszynę podwójnie działającą, w której ciśnienie powietrza zupełnie jest wykluczone i zastąpione całkowicie przez ciśnienie pary o wysokiej prężności, przez co właściwie dopiero została wynaleziona prawdziwa maszyna parowa. Ponieważ w maszynie tej tłok nie tylko ciągnie wahadlnik, lecz także przesuwa go podczas swego powrotu, to nie dość było połączyć po prostu pręt tłoka z wahadlnikiem za pomocą łańcucha, jak w maszynie Newcomen'a, lecz należało połączenie to uskutecznić za pośrednictwem stałych prętów. Ażeby jednak pręt tłoka podczas ruchu wahadlnika nie wyginał się kolejno w jedną i w drugą stronę, Watt wsunął pomiędzy ten pręt i wahadlnik równoległobok, złożony z żelaznych prętów, który później bliżej poznamy. Również i koło rozpędowe oraz korba, służąca do wprawiania go w ruch i regulator, czyli wahadło stożkowate, znane jeszcze przed Wattem, zostały przez niego po raz pierwszy zastosowane do maszyn parowych. Watt obmyślił także sposób przerwania dopływu pary, zanim jeszcze tłok osiągnął najwyższe położenie

w cylindrze, przez co nie tylko umożliwił oszczędność na paliwie, lecz także uniknął twardych uderzeń maszyny, ulepszenie zaś to doszło do pewnej doskonałości wówczas, gdy Woolff wynalazł maszyny o podwójnym cylindrze. Widzimy tedy, jak wiele zawdzięczamy Watt'owi, którego słusznie nazwać możemy także wynalazcą maszyny parowej, chociaż nie należy zapominać o zasługach innych mężów. W roku 1758 Keane Fitzgerald wprowadził skrzydła wiatrakowe, mające regulować bieg maszyny, w roku zaś 1778 pierwszy Washborough zamienił prostolinijny, drgający ruch tłoka w ruch obrotowy.

Po tym krótkim rysie historycznym przystąpmy do opisu oddzielnych części maszyny parowej, obecnie będącej w użyciu.

§ 2. Budowa maszyny parowej i praca przez nią wykonana.

W maszynie tej, odróżniamy trzy główne części: 1) kocioł parowy, 2) mechanizm ruchu, składający się z cylindra z tłokiem oraz z urządzenia, ułatwiającego rozmieszczanie pary i 3) mechanizm do przenoszenia ruchu.

W celu poznania budowy kotła parowego wybieramy formę bardzo szeroko rozpowszechnioną, najczęściej używaną w warsztatach i fabrykach. Składa się on z wielkiego, żelaznego naczynia, czyli trzonu, umieszczonego w górnej części obmurowania, zbudowanego z kamieni. Trzon ten na całej długości ma kształt walcowaty, na obu zaś końcach jest zamknięty przez półokrągłe pokrywy; stanowi on główną część kotła i zawiera większą część wody, która ma być zamieniona w parę. Figura 489 (str. 891) *C* przedstawia go w podłużnem przecięciu. Pod trzonem znajdują się dwie lub trzy długie rury *B*, połączone z nim za pomocą rur pobocznych; muszą one zawsze być całkowicie napełnione wodą, a ponieważ leżą tuż nad ogniskiem, to wrzenie najprzód w nich się rozpoczyna, z nich też pierwsze pęcherzyki pary wznoszą się do góry. Zadaniem tych rur dodatkowych jest powiększyć ogrzewaną powierzchnię kotła w stosunku do ilości wody, która ma przejść w stan pary. Jako materya-

łu do budowy kotła używa się zwykle mocnych płyt żelaznych najlepszego gatunku, spojonych ze sobą nadzwyczaj mocno i starannie. Dawniej istniały urzędowe przepisy co do grubości

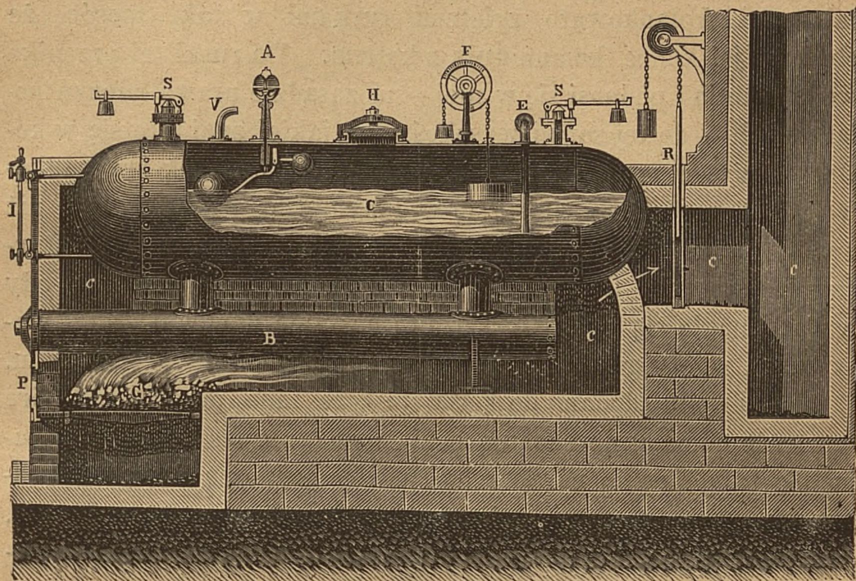


Fig. 489. Podłużne przecięcie kotła parowego.

ścian kotła, które miały stawić opór ciśnieniu określonej liczby atmosfer, obecnie zaś w większości państw istnieje prawo, że każdy kocioł przed użyciem powinien być, za pomocą prasy hydraulicznej, poddany ciśnieniu, większemu w pewnym stosunku od maximalnego ciśnienia, jakie ma wytrzymywać.

Przed puszczeniem maszyny w ruch napełnia się rury *B* całkowicie wodą, trzon zaś tylko do pewnej wysokości tak, ażeby wewnątrz niego ponad wodą pozostała wolna przestrzeń; w tej ostatniej zbiera się para zanim wchodzi do tych części maszyny, które ma wprawić w ruch. Otóż jest rzeczą nadzwyczaj ważną, ażeby poziom wody w kotle parowym nie obniżył się zbytecznie, ani też podniósł powyżej pewnej granicy, w obu bowiem razach może to sprowadzić pęknięcie kotła. Dlatego też wymyślono różne przyrządy, za pomocą których można poznać do jakiej wysokości dochodzi woda w kotle; można je wszystkie zali-

czyć do tak zwanych przyrządów bezpieczeństwa. Często bardzo przy jednym kotle znajduje się kilka takich aparatów. Na fig. 489 widzimy w *I* rurkę z kryształowego szkła, umieszczoną obok kotła w położeniu pionowem, która łączy się z dwiema metalowemi, kolankowato zgiętemi rurkami w taki sposób, że obadwa jej końce komunikują z kotłem. Do rurki tej przenika woda z kotła i podnosi się w niej—na zasadzie prawa naczyń połączonych — do tej samej wysokości, na jakiej znajduje się w kotle. Przytem może się jednak zdarzyć, że wskutek przypadkowej okoliczności wywiąże się w danym czasie więcej pary, niż zwykle, albo że pompa dzięki jakiemuś uszkodzeniu nie dostarczy dostatecznej ilości wody; w obu wypadkach poziom wody w kotle nagle się obniży, a może to nastąpić w chwili, gdy maszynista, zajęty gdzieindziej, nie obserwuje opisanego przyrządu. Z tego powodu dodano do kotła jeszcze inne przyrządy, które w sposób odmienny wskazują poziom wody; wybrano do nich ciała pływające po jej powierzchni, a więc podnoszące się i opuszczające wraz z nią i połączono je z aparatem sygnałowym. *Pływak* (fig. 489, *A*) składa się zwykle z metalowej kuli, wewnątrz pustej, przymocowanej do końca dźwigni, która na drugim swym końcu jest zaopatrzona w ciężarek. Dopóki poziom wody nie przekracza zakreślonych mu granic, dźwignia ciśnie na klapę, znajdującą się w pokrywie kotła i zamyka ją, gdy woda obniża się, klapka ta się otwiera, wychodząca zaś przytem para spotyka na swej drodze ostre brzegi małego dzwonka i powoduje ów dobrze znany, przeraźliwy dźwięk, trwający tak długo, dopóki nie przybędzie wody do kotła, a więc dopóki klapka napowrót się nie zamknie.

Ponieważ każdy kocioł parowy może wytrzymać ciśnienie określonej liczby atmosfer, to urządza się w nim klapki bezpieczeństwa, podobne do tych, jakie widzimy w *SS* (fig. 489), które otwierają się w chwili, gdy prężność przekracza przepisaną granicę i wypuszczają parę. Tutaj dźwignia, obciążona gwichtem, wciska żelazny korek do otworu rury, wznoszącej się od kotła; gwicht tak jest dobrany, że ciśnienie na każdy centymetr kwadratowy powierzchni korka i na każdą atmosferę najwyższe-

go ciśnienia pary wynosi 1,033 kilogr. Jeżeli np. powierzchnia korka jest równa 4 kw. centym., ciśnienie zaś pary ma dojść do 6 atmosfer, na korek powinna cisnąć siła 24,8 kilogr. Gdy więc ramię dźwigni, na którem wisi gwicht, jest 8 razy dłuższe, aniżeli odległość korka od punktu oparcia, to gwicht powinien być równy 3,1 kilogr. Oprócz klapek bezpieczeństwa, które jak widzimy, nie pozwalają, ażeby prężność pary przekroczyła pewną maximalną wysokość, umieszcza się przy kotle manometry (patrz str. 171), wskazujące w każdej chwili, jakie właściwie ciśnienie istnieje w kotle.

Zwróćmy się obecnie do opisu głównej części mechanizmu ruchu, a mianowicie do cylindra. Zwykle jest on zbudowany z lanego żelaza, posiada wszędzie dokładnie jednakową średnicę i wewnętrzną powierzchnię bardzo starannie wygładzoną. Obadwa jego końce są zamknięte przez pokrywy silnie przyśrubowane (fig. 490); przez otwór w górnej pokrywie przechodzi pręt *t* tłoka. Sam tłok po większej części składa się z dwóch płyt metalowych o średnicy nieco mniejszej od średnicy cylindra, mocno połączonych ze sobą oraz z prętem, który przez nie przechodzi. Do cylindra otwierają się dwa kanały *a a* i *a′ a′*, któremi para wchodzi naprzemian z jednej lub drugiej strony i powoduje ruch tłoka do góry, albo na dół. Bardziej na zewnątrz kanały te otwierają się do przestrzeni *BB*, w której najprzód zbiera się para, przychodząca z kotła; tutaj widzimy także otwór kanału *E*, przez który uchodzi ona do rury *C*, a następnie w powietrze, albo do kondensatora, gdzie traci swoją prężność.

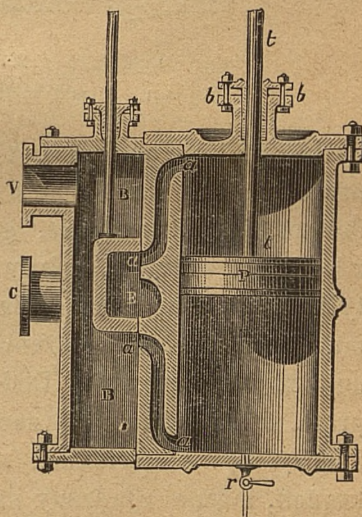


Fig. 490. Podłużne przecięcie cylindra.

Zewnętrzna ściana cylindra, w której znajdują się trzy wymienione otwory, jest nader starannie wygładzona. Przed

otworami przesuwa się pryzmatyczna skrzynka czyli zasuwka, stale zamknięta od strony zwróconej ku przestrzeni *BB*, do której para przybywa przez rurę *V*, zawsze zaś otwarta od strony otworu *E*.

Względem kanałów, któremi para wchodzi do cylindra, zasuwka kolejno przyjmuje rozmaite położenia, szematycznie przedstawione na fig. 491. Gdy zachodzi ona poza dolny kanał, wte-

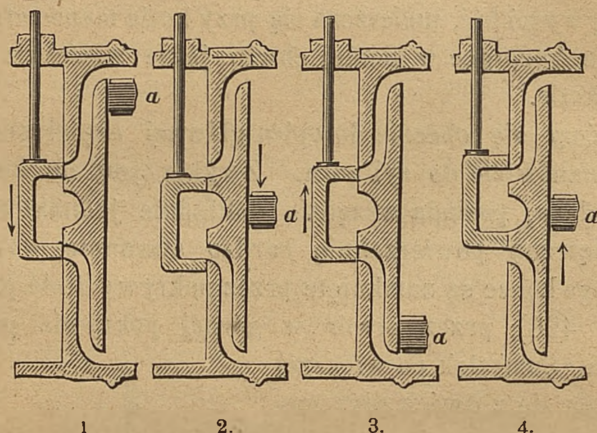


Fig 491. Szematycznie przedstawiony ruch zasuwki tłoka.

dy komunikuje on *jedynie* z otworem *E*, jednocześnie zaś przez otwarty górny kanał para wchodzi do cylindra i pcha tłok *a* ku dołowi (2). Przeciwnie, gdy dolny kanał łączy się swobodnie z kotłem parowym, górny jest od niego odcięty i komunikuje tylko z otworem *E* (4). Figury (1) i (3) odpowiadają najwyższemu i najniższemu położeniu tłoka, strzałki zaś pokazują kierunek ruchu zasuwki. Dodajmy, że jest ona przymocowana do pręta, który szczelnie przechodzi przez otwór w pokrywie tłoka i łączy się z pierścieniem metalowym; ten ostatni z kolei otacza krążek, mocno osadzony na osi koła rozpędowego, a więc poruszany przez samą maszynę.

Z figury 491 widać, że każda z dwóch części cylindra tak długo komunikuje swobodnie z kotłem parowym, dopóki tłok nie dochodzi do przeciwnego końca cylindra, czyli że przez cały ten czas para, poruszająca tłok, posiada tę samą prężność, jaką miała przy wyjściu z kotła. Dawniej nie znano innego sposobu urzą-

dzenia maszyny i pracowano ciągle całą siłą pary, lecz już Watt zrobił uwagę, że byłoby daleko korzystniej, gdyby para miała dostęp do cylindra jedynie w ciągu ułamku czasu, jakiego potrzebuje tłok do przebycia drogi w danym kierunku. Przez to maszyna porusza się daleko prawidłowiej i przy jednakowej pracy zużywa się mniej pary, a więc i mniej paliwa. Jeżeli np. puszcza się parę tylko tak długo, dopóki tłok nie odbędzie trzeciej części swej drogi, to po zamknięciu otworu kanałowego, para, znajdująca się w cylindrze, bynajmniej nie przestaje działać, lecz pcha tłok dalej. Ponieważ jednak przestrzeń, zajęta przez nią, powiększa się przytem ciągle, to prężność jej w tym samym stosunku maleje tak, że w chwili gdy tłok dochodzi do końca swej drogi, prężność ta jest trzy razy mniejsza od pierwotnej. O maszynie w ten sposób urządzonej powiadamy, że pracuje ekspansywnie. Istnieją rozmaite do tego środki, lecz wspomnimy tylko o jednym, a mianowicie o zasuwce Clapeyron'a (fig. 492), nieco odmiennej od poprzednio opisanej. Odmiana polega na tem, że brzegi zasuwki, dzięki częściom dodatkowym, są o wiele szersze od otworów kanałowych *LL'*; części te *ab*, *a'b'* *cd* i *c'd'*, wystają z zewnątrz i z wewnątrz i nie pozwalają, ażeby jeden z kanałów oworzył się natychmiast po zamknięciu drugiego.

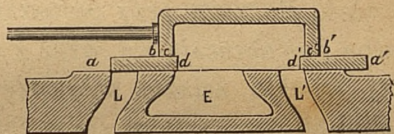


Fig. 492. Zasuwka Clapeyron'a.

Widzieliśmy, że wskutek działania pary w maszynie parowej, tłok porusza się tam i napowrót po prostej linii. Ponieważ jednak w praktyce ruch prostolinijny daje się spożytkować tylko w nielicznych wypadkach, przeto starano się zamienić go w inny, obrotowy, bardziej dla nas odpowiedni i z łatwością dający się znów przeobrazić w odmienną formę ruchu. Chodziło głównie o to, ażeby poruszający się tłok mógł obracać oś, na której osadzone są koła. Najdawniejszy sposób urzeczywistnienia tego polega na przeniesieniu ruchu tłoka na dźwignię dwuramienną czyli na wahadlnik; obecnie jeszcze większość stojących maszyn parowych jest tak urządzona. Figura 493, str. 896, przed-

stawia to szematycznie. Pręt *t*, przymocowany do tłoka *P*, łączy się ruchomo z końcem *A* dźwigni *AB*, która obraca się wokoło punktu *l*; drugi koniec *B* dźwigni połączony jest również rucho-

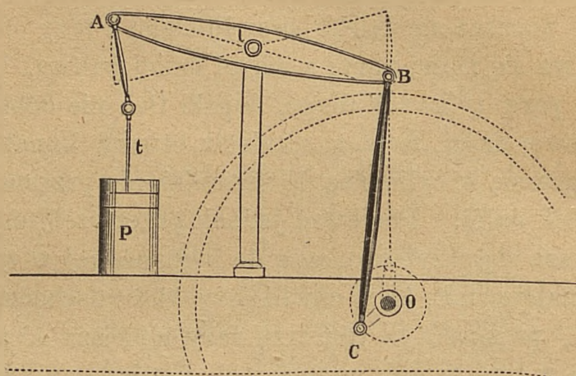


Fig. 493. Przenoszenie ruchu tłoka za pomocą wahadlnika.

mo z korbą *CO*, przymocowaną do osi *O*. Z rysunku łatwo zrozumieć, dlaczego przy poruszaniu się pręta *BC* do góry i na dół korba i oś obracają się, wraz z osią obraca się także osadzone na niej wielkie żelazne koło rozpędowe. W taki sposób ruch prostolinijny przekształca się w ruch obrotowy; oprócz tego rozpęd nadany kołu przyczynia się do większej prawidłowości ruchu.

Gdy wahadlnik porusza się w jedną i w drugą stronę, koniec jego *A*, do którego jest przymocowany pręt tłoka, opisuje łuk, pręt zaś i tłok poruszają się po linii prostej, co możliwe jest jedynie przy ruchomem połączeniu. Lecz nawet wtedy, gdy ono jest tak urządzone, jak je przedstawia fig. 493, pręt tłoka ciśnie przy poruszaniu się na brzegi otworu, przez który przechodzi, co wkrótce powoduje rozszerzenie się otworu, a więc narusza szczelne zamknięcie cylindra. Ażeby temu zapobiedz Watt wprowądził ulepszenie równie proste, jak pomysłowe, które łatwo zrozumiemy z fig. 494, str. 897. Zamiast przymocować pręt tłoka bezpośrednio do wahadlnika, Watt łączy ten ostatni w dwóch miejscach *C* i *E* z dwiema jednakowemi sztabkami *CB* i *ED*, które z kolei są połączone za pomocą sztabki poprzecznej *BD*, równej *CE* tak, że figura *CEDB* w każdem położeniu tworzy

Roznosiciele mają Prospekty i Zeszyty na okaz!

Дозволено Цензурою, Варшава 21 Апрѣля 1889 г.

Druk Jana Cotty w Warszawie, Senatorska 29.